



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Vurdering af indeklimaet i hidtidigt lavenergibyggeri

*Med henblik på forbedringer i fremtidens lavenergibyggeri*

Larsen, Tine Steen

*Publication date:*  
2011

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Larsen, T. S. (2011). *Vurdering af indeklimaet i hidtidigt lavenergibyggeri: Med henblik på forbedringer i fremtidens lavenergibyggeri*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Contract Reports Nr. 100

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

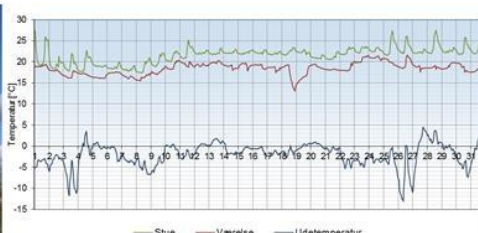
### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Vurdering af indeklimaet i hidtidigt lavenergibyggeri

- med henblik på forbedringer  
i fremtidens lavenergibyggeri

Tine Steen Larsen



Udarbejdet for:

Erhvervs- og byggestyrelsen

  
**ERHVERVS- OG BYGGESTYRELSEN**

DCE Contract Report No. 100

  
**AALBORG UNIVERSITET**  
Institut for Byggeri og Anlæg



Aalborg Universitet  
Institut for Byggeri og Anlæg  
Sektion for Architectural Engineering

**DCE Contract Report No. 100**

**Erfaringer med indeklimaproblemer  
fra hidtidigt lavenergibyggeri  
- med henblik på forbedringer  
i fremtidens lavenergibyggeri**

Tine Steen Larsen

Januar 2011

© Aalborg Universitet

## Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

**Technical Reports** anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

**Technical Memoranda** udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

**Contract Reports** benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

**Lecture Notes** indeholder undervisningsmateriale udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

**Theses** er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad.

**Latest News** rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

Udgivet 2011 af  
Aalborg Universitet  
Institut for Byggeri og Anlæg  
Sohngårdsholmsvej 57,  
DK-9000 Aalborg, Danmark

Trykt i Aalborg på Aalborg Universitet

DCE Contract Report No. 100

## Forord

Denne rapport og det tilhørende analysearbejde er udarbejdet i forbindelse med forberedelserne til en kommende lavenergiklasse 2020. Hovedvægten i rapporten er lagt på viden og erfaringer med indeklimaet i det lavenergibyggeri der hidtil er opført for at sikre, at de problemer der har været indtil nu ikke bliver gentaget fremover. Hermed kan rapporten være en hjælp til at sikre, at fremtidens bygninger, med et meget lavere energiforbrug end standarden idag, også er sunde og har et godt indeklima

Arbejdet er rekvireret af Erhvervs- og byggestyrelsen og udført af lektor Tine Steen Larsen, Aalborg Universitet med faglig sparring fra Susanne Højholt, Saint Gobain Isover A/S, Ellen Kathrine Hansen, VKR Holding, Peter Foldbjerg, VELUX A/S, Ulrik Thomsen, WindowMaster A/S samt Rasmus Lund Jensen, Aalborg Universitet.

Aalborg Universitet, januar 2011

*Tine Steen Larsen*  
Lektor



## Indhold

1. Sammenfatning.....	9
2. Indledning.....	13
2.1 Baggrund.....	13
2.2 Datagrundlag.....	14
2.3 Vurderingskriterier for indeklimaet .....	15
3. Risiko for overophedning .....	17
3.1 Erfaringer.....	17
3.2 Case study: Overtemperatur i en-familie bolig opført som passivhus .....	18
3.3 Integration af solafskærmning.....	21
3.4 Aktiv brug af naturlig ventilation .....	22
3.5 Effekt af termisk masse .....	24
3.6 Dokumentation af temperaturen i kritiske rum.....	25
3.7 Opsamling .....	28
4. Utilstrækkelig opvarmning.....	31
4.1 Erfaringer.....	31
4.2 Case study: Varmetab fra kritisk rum .....	32
4.3 Lufttæthedens betydning for varmebehovet.....	35
4.4 Opsamling .....	36
5. Behovstyret ventilation.....	39
5.1 Erfaringer.....	39
5.2 Case studies: Indeklimaanalyse ved brug af behovstyret ventilation .....	40
5.3 Opsummering.....	44
6. Optimering af dagslys .....	47
6.1 Erfaringer.....	47
6.2 Optimering af dagslysforholdene .....	49
6.3 Case study: Dagslysoptimering i en bolig .....	50
6.4 Robusthed i forhold til rotering af bygningen.....	51
6.5 Opsummering.....	52
7. Akustik og støj fra installationer .....	53
7.1 Støj fra installationer .....	53
7.2 Akustik.....	53
8. Brugernes rolle i fremtidens lavenergi-byggeri .....	55
8.1 Erfaringer.....	55
8.2 Opsummering: Skal man være miljø-freak for at bo i et lavenergihus? .....	56
9. Referencer.....	57
Bilag A: Dokumentation af indeklima.....	59
Bilag B: Beregning af døgnmiddeltemperatur til case study .....	63
Bilag C: Beregning af dagslysfaktor .....	65





## 1. Sammenfatning

Energibesparelser på boligområdet er væsentlige for at opnå det samlede mål for energibesparelser, der er opstillet i den energipolitiske aftale fra 2008. Boligområdet står for ca. 30 % af Danmarks samlede energiforbrug, og der ligger derfor et stort potentiale her. Dette har de seneste år resulteret i flere forsøgsbyggerier og udviklingsprojekter med fokus på udvikling af lavenergiboliger i en dansk kontekst.

Desværre har ikke alle erfaringer fra disse byggerier givet positive tilbagemeldinger, og bl.a. problemer med indeklimaet i boligerne har været i fokus. Dog er det vigtigt at pointere, at nogle af problemerne i lavenergibygninger også eksisterer i tidligere tiders byggeri. Fx er problematikken med overophedning velkendt fra tidligere, men problemet bliver i lavenergibyggeriet tydeligere, idet boligen meget hurtig bliver varm, så selvom der er tænkt over mange detaljer og gode løsninger i boligerne, er der alligevel efterfølgende opstået problemer. Målet med denne rapport er at analysere disse problemer og vurdere, hvordan problemerne fremover kan fjernes eller blive kraftigt reducerede i kommende byggerier for at sikre, at fremtidigt lavenergibyggeri i Danmark vil blive sunde boliger med et godt indeklima.

I de kommende afsnit opridses de væsentligste konklusioner fra analysen. Ønskes yderligere uddybning kan dette findes i de efterfølgende kapitler i rapporten.

### Overophedning

Hidtidige erfaringer fra boliger bygget som lavenergibyggeri har vist, at der i en del huse hurtigt opstår meget høje temperaturer og dermed diskomfort. De høje temperaturer opstår dels pga de mange sydvendte vinduespartier, som i mange tilfælde er dårligt afskærmet fra solindfald, dels på grund af manglede muligheder for udluftning.

Analyse af problemerne med overophedning i lavenergiboliger viser, at det fremover er væsentligt at inddrage muligheden for aktiv brug af naturlig ventilation i vores boliger kombineret med udvendig solafskærmning. Den aktive brug af naturlig ventilation skal forstås således, at det også i dagtimerne hvor boligen står tom, eller om natten skal være muligt at ventilere naturligt, og dermed gøre brug af den "gratis" køleeffekt, vi får stillet til rådighed ved blot at åbne vinduerne. For at dette kan blive muligt, uden risiko for indbrud, skal åbningerne i boligen indtænkes fra designfasens start, og huset designes ud fra muligheden for naturlig ventilation, da det kan være svært at skabe denne mulighed, når huset først er opført.

Udover inddragelse af naturlig ventilation og solafskærmning blev det diskuteret, hvorvidt brug af tunge bygningsmaterialer som fx beton med høj termisk masse (dvs. materialet er i stand til at oplagre varme) i en varm sommerperiode kan påvirke indetemperaturen i boligen i enten positiv eller negativ retning. Her blev det konkluderet, at den termiske masse kun har en positiv effekt, så længe det er muligt at køle konstruktionen ned i nattetimerne, dvs. at brug af termisk masse kun fungerer, når det er muligt at tilvejebringe et passende stort luftskifte i nattetimerne via den naturlige

ventilation. Opnås dette ikke, kan den termiske masse i stedet forøge problemerne med overophedning af bygningen.

Endelig blev det analyseret, hvorvidt man, via en analyse af de termiske forhold i boligens kritiske sydvendte rum i en sommerperiode, kan forudsige/reducere problemet med overtemperaturer. I dag benyttes Be06, som er et energiberegningsprogram, ofte også som kontrol af indeklimaet i form af den indbyggede "straf for overtemperatur", men dette er en meget usikker kontrol, da programmet ser bygningen som et volumen og dermed oftest ikke vil afsløre problemer i fx sydvendte rum med stort solindfald, hvor problemerne typisk opstår. Det er væsentligt at forstå, at indeklimaet ikke kan kontrolleres via et energiberegningsprogram men skal analyseres via værktøjer egnede til indeklima. Problemet med overtemperaturer i boligen blev belyst via en dynamisk beregning foretaget med BSim, som er en forholdsvis dyr løsning, samt en døgnmiddelberegning, som kan foretages på et par timer. Begge løsninger afslørede et problem med overtemperaturer i det angivne eksempel og kunne dermed have afhjulpet problemet, hvis det havde været gennemført i husets designproces. Det kan derfor anbefales, at man i fremtidigt byggeri inddrager en analyse af, som minimum, det termiske indeklima i boligen i sommerperioden.

#### **Utilstrækkelig opvarmning**

Ved design af lavenergihuse er det ofte meget små mængder energi der skal tilføres huset for at opvarme det i vinterperioden. Hvis der ved anlægsudformningen vælges en mulig tilført effekt, der ligger meget tæt op ad det beregnede varmetab, vil huset opleve situationer med utilstrækkelig kapacitet i anlægget, så snart de aktuelle tilstande i huset afviger fra beregningsforudsætningerne. Dette sker fx i situationer, hvor udetemperaturen er lavere end  $-12^{\circ}\text{C}$ , og rumtemperaturen ønskes højere end  $20^{\circ}\text{C}$ , eller hvis huset ikke er blevet så tæt, som det var forudsat i beregningerne.

Et andet punkt der fremhæves, er den reducerede eller manglende mulighed for brug af individuel regulering af rumtemperaturen, når der udelukkende bruges luft som opvarmning. Dette kan bl.a. komme til udtryk ved kolde hjørnerum i en bolig, som kræver øget varmetilførsel, noget der også fremhæves af Minergie® Agentur Bau i deres undersøgelse af luftvarme til opvarmning af boliger, hvor de konkluderer, at ulemperne ved denne form for opvarmning er for store i forhold til de besparelser, der kan opnås ved at spare det vandbårne system væk [Minergie® Agentur Bau, 2007]. Er der i boligen dårlig fordeling af varme mellem rum (fx pga. lydisolering i væggene mellem de enkelte rum), vil en individuel reguleret varmeforsyning i hvert rum desuden kunne forøge temperaturen i rummet, hvis dette ønskes, så længe effekten er til rådighed fra anlægget. Problematikken med den uens varmefordeling mellem rummene understreger desuden nødvendigheden i at regne på boligen som flere temperaturzoner, hvor varmetab og varmetilskud er forskellige fra zone til zone.

Endelig blev det fremhævet, at tætheden af byggeriet er en væsentlig parameter for energibehovets størrelse. Er byggeriet utæt, vil infiltration medføre indtrængen af koldt luft i boligen, som kræver opvarmning fra husets almindelige varmekilder. Hvis disse i forvejen er projekteret med en lille eller ingen sikkerhedsmargin, vil en øget infiltration, i forhold til

forudsætningen i beregningerne, hurtigt kunne medføre problemer med opvarmning af boligen

### **Dagslys**

Øget brug af dagslys i boligen medfører, udover en energibesparelse på el til belysning, også kvalitative aspekter; æstetiske, oplevelsesmæssige samt sundheds- og komfortmæssige forbedringer. Det diskuteres i afsnittet om dagslys, hvorvidt et krav til dagslysfaktorer i boliger skal inddrages, når fremtidige lavenergiboliger designses, og hvordan dette kan gøres.

Der gives to eksempler på optimering af dagslysforhold. I det ene eksempel er målsætningen en dagslysfaktor på 2 % ved rummets bagvæg for hermed at inddrage rummets dybde i vurderingen. I det andet eksempel tilstræbes der at få en middel dagslysfaktor for rummet på 5 %. Desuden gives konkrete eksempler på vinduesplaceringer, som vil kunne forbedre dagslysforholdene i en bolig. Dog pointeres det ved alle sydvendte placeringer, at der samtidig bør kontrolleres for overophedning i rummet.

Endelig analyseres betydningen af vinduernes orientering i forhold til energibehov og robusthed over for rotering af bygningen. Denne analyse påviser vigtigheden af en ligelig fordeling af vinduesarealer i de tilfælde, hvor huset skal kunne placeres på en hvilken som helst byggegrund uafhængigt af orienteringen af denne. Samtidig vil en mere ensartet placering af vinduerne mod alle retninger også kunne afhjælpe problemerne med mørke rum i den nordlige del af huset samt risiko for overophedning, blænding og stærke kontraster i de sydvendte rum.

### **Behovsstyring**

Alt tyder på, at fremtidens boliger bliver større og større samtidig med at vi bor færre personer i boligerne. Det vil sige, at vi får et større antal  $\text{m}^2$  pr. person, hvilket samtidig medfører, at behovet for frisk luft pr.  $\text{m}^2$  bolig reduceres - i al fald når parametrene temperatur,  $\text{CO}_2$  og fugt vurderes. Hvorvidt det samme gælder for andre parametre, som fx radon og formaldehyd, vurderes ikke i denne analyse, men skal inddrages, inden en endelig vurdering af behovsstyring i boliger kan gennemføres.

Der gennemgås i rapporten forskellige former for behovsstyret ventilation, som alle giver et tilfredsstillende indeklima. To af de tre systemer er begge styret automatisk via målinger af hhv. fugt og en kombination af fugt og  $\text{CO}_2$ . Disse løsninger sikrer en robust ventilationsmetode i boligen, hvor der tages hensyn til variationen af den interne belastning. Af de to løsninger vil løsningen med måling af både fugt og  $\text{CO}_2$  give den mest sikre løsning.  $\text{CO}_2$  vil dog med et luftskifte på  $0,5 \text{ h}^{-1}$  oftest kun være et problem i korte perioder med gæster i boligen, men hvis man fremover tillader et luftskifte mindre end  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , kan det diskuteres, hvorvidt den ekstra investering er nødvendig, da analyserne i denne rapport ikke tyder på problemer med høj relativ fugtighed men snarere det modsatte. Dog er det væsentligt at fremhæve, at små rum med høj intern belastning skal sikres et godt luftskifte. Dette er typisk soveværelser og børneværelser, hvor der er belastning hele natten. Børneværelserne er i nogle tilfælde ekstra kritiske, da der i disse rum også er belastning i dagtimerne.

En anden vigtig parameter er vurdering af energieffektiviteten i ventilationsanlæggene, dvs. SEL-værdien. Der er stor variation på SEL-

værdien (også ud over det tilladte niveau i BR08/BR10) til trods for, at alle anlæggene er opstillet inden for de sidste 2-3 år. En høj SEL-værdi kan ødelægge selv de bedste hensigter om at lave et effektivt og energivenligt ventilationssystem, så det er derfor vigtigt, at SEL-værdien som standard dokumenteres ved aflevering af byggeriet ud fra målinger på det opstillede anlæg.

### **Støj**

Øget tæthed og isolering i lavenergihuse fungerer også som lydisolering mod støj uden for huset, hvorfor lyde fra installationer inde i boligen kan opleves højere og mere generende. Fx kan radiatorventiler hyle, vandhaner og cisterner vil suse, og ventilationsanlægget kan brumme. Der kan derfor være behov for skærpede lydkrav til installationer i fremtidens lavenergibyggeri.

Der findes endnu kun ganske få erfaringer med dette, men der nævnes i rapporten et eksempel, hvor støj over 25 dB har medført gener for beboerne. BR-krav i dag er 30 dB.

I forbindelse med støj fra tekniske installationer er det væsentligt at fremhæve, at selve placeringen af ventilationsanlægget og afskærmning fra støj omkring anlægget er vigtig for at opnå et godt resultat, når støj fra anlægget efterfølgende vurderes.

### **Brugere**

Brugernes påvirkning af både energiforbrug og indeklima er en væsentlig faktor, når vurderinger af disse parametre skal foretages. Brugernes adfærd kan betyde en variation på en faktor 3-4 i boligens energiforbrug [Andersen, 2009], [Gram-Hanssen, 2005], [Janson, 2010], og det er derfor væsentligt at overveje, om vi ved påvirkning af brugerne kan forbedre indeklimaet og samtidig reducere energiforbruget.

Meget tyder på, at kommunikation og oplysning af brugerne er vejen til succes, og der gives flere eksempler på, hvordan manglende information har ført til enten dårligt indeklima eller forhøjet energiforbrug.

Lavenergiboliger i dag stiller på mange områder krav til brugerne om ændret adfærd i forhold til deres tidligere boliger. Ikke alle er villige til eller bevidste om denne adfærdsændring, og det bør også diskuteres, hvorvidt det skal være nødvendigt med en ændret adfærd for at bo i et lavenergihus. Beboere uden en "energivenlig" adfærd skal også kunne bo i lavenergihuse uden at dette føles som en begrænsning i deres adfærd. Der bør derfor aldrig indskrænkes i beboernes personlige komfort – bliver dette nødvendigt, vil lavenergikonceptet ikke kunne opnå succes.

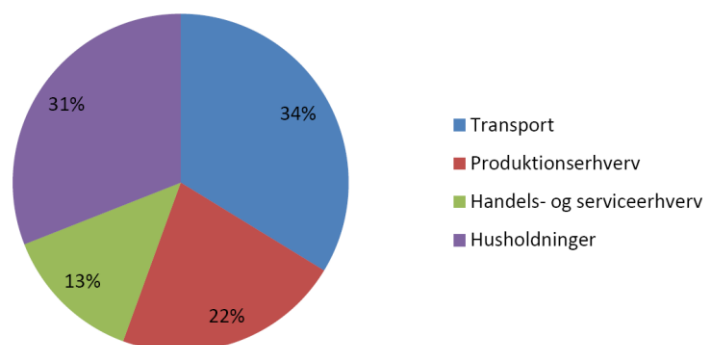
## 2. Indledning

Denne rapport og det tilhørende analysearbejde er udarbejdet i forbindelse med forberedelserne til en kommende lavenergiklasse 2020, hvor det er ønsket at få kortlagt viden og erfaringer med indeklimaproblemer i hidtidigt lavenergibyggeri og potentialer indenfor fremtidigt lavenergibyggeri. Formålet med rapporten er at sikre, at fremtidens bygninger, med et meget lavere energiforbrug end nutidens bygninger, også er sunde boliger med et godt indeklima.

Analysens formål vil dermed være dels at kortlægge erfaringer med indeklimaproblemer i lavenergibygninger, og samtidig at analysere de vigtigste problemstillinger, med henblik på at EBST kan igangsætte initiativer, der fremadrettet håndterer disse problemstillinger.

### 2.1 Baggrund

Den energipolitiske aftale indgået i 2008 satte et mål for en samlet besparelse i det danske brutto energiforbrug på 4% i 2020 i forhold til 2006 niveau. Ses der på en fordeling af energiforbruget findes det, at energiforbruget til danske husholdninger udgør 31% af det samlede danske energiforbrug, jf Figur 2.1. Hermed ligger der et stort besparelspotentiale indenfor bygningsområdet. For nybyggeriet er målsætningen at energiforbruget skal reduceres med 25 % i 2010, 25 % i 2015 og 25 % i 2020, i alt en reduktion på 75 % i forhold til 2006-niveauet.



Figur 2.1. Fordeling af det danske energiforbrug i 2009. [Energistyrelsen, 2010]

Der har de seneste år været stor fokus på opførelsen af lavenergiboliger, da boliger med et meget lavt energiforbrug vil kunne bidrage positivt til at nedsætte det samlede danske energiforbrug. Dette har udmundet i flere forsøgsbyggerier og udviklingsprojekter som fx Komforthusene (Skibet ved Vejle), Green Lighthouse (Københavns Universitet), Fremtidens Parcelhuse (Køge) og Bolig for livet (Lystrup). Desværre er der i forbindelse med noget af lavenergibyggeriet efterfølgende opstået problemer med indeklimaet i boligerne [Ingeniøren, 27/8-2010], [Kristensen et al, 2010] – problemer, som gerne skal fjernes eller reduceres kraftigt i kommende byggerier af samme type.

En typisk lavenergibygning vil, for at kunne opnå den lave energiramme, have en meget tæt klimaskærm, et tykt isoleringslag og udnytte det passive solindfald. Det er netop disse ting, som er lavenergibyggeriets forcer, men det kan også give en række problemer for bygningens sundhed og indeklima. Vi kender allerede i dag til en række af disse problemer bl.a. fra erfaringer med danske lavenergibygninger. Her kan bl.a. nævnes:

- Overophedning i bygninger om sommeren og i overgangsperioder
- Problemer med utilstrækkelig varmforsyning
- Spørgsmål om, hvad der skal styres efter ved behovsstyret ventilation
- Støj fra installationer ved bedre isolering af klimaskærmen
- Dårlige dagslysforhold i nordvendte rum

Inden lavenergiklasse 2015 og lavenergiklasse 2020 bliver standardkrav, er der behov for mere viden om indeklimaproblemernes karakter, så det løbende kan sikres, at regulering og information tilpasses, så problemerne kan undgås og vi får skabt sunde og komfortable bygninger.

Analysen i denne rapport vil søge at afdække problemerne og deres årsag samt diskutere hvorledes problemerne kan undgås i fremtidigt lavenergibyggeri.

## 2.2 Datagrundlag

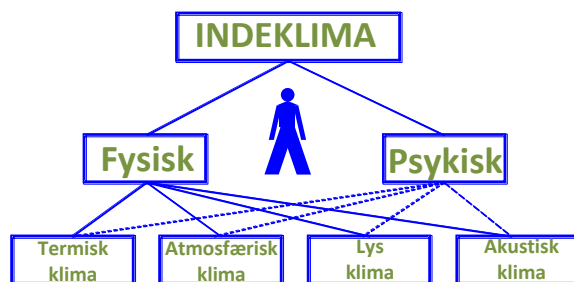
Dataene, der ligger til grundlag for analyserne i rapporten stammer fra måleprojekter gennemført af henholdsvis Aalborg Universitet og VKR Holding. Måleprojekterne er:

- *"Demonstration af energiforbrug og indeklima i 10 danske passivhuse"*. Forskningsprojekt udført af Aalborg Universitet i perioden 01-06-08 → 31-12-11  
Projektet omfatter måling af indeklima og energiforbrug i Komforthusene opført i 2008 i Skibet vest for Vejle. Husene er opført efter den tyske passivhusstandard, som energimæssigt ligger mellem den danske 2015 klasse og den forventede 2020 klasse. Data måles hvert femte minut i hele den treårige måleperiode. Projektet er støttet økonomisk af Realdania.
- *"EnergiParcel – Ny energi til dit hus"*. Forskningsprojekt udført af Aalborg Universitet i perioden 01-10-08 → 28-02-12  
Projektet følger fire energirenoveringer gennemført i Tilst ved Århus, hvoraf det del-projekt, der refereres til i denne analyse, er en renovering fra standard 70'ers bolig ned til lavenergiklasse 1. Der måles på indeklima og energiforbrug både før og efter renoveringen for at undersøge om de beregnede besparelser også reelt opnås i husene. Data måles hvert femte minut i hele den treårige måleperiode
- *"Bolig for livet"*. Måleprojekt gennemført af VKR Holding i perioden 01-07-09 → 01-07-11  
Projektet følger et energiproducerende hus (et aktivhus) opført i Lystrup nord for Århus. Huset måles og observeres i minimum 2 år med to forskellige testfamilier. Det første år blev målingerne foretaget af Ingeniørhøjskolen i Århus og brugerobservationer og interviews foretaget af Alexandra Institutet. Måleperioden er afsluttet sommeren 2010, herefter blev huset solgt og en ny familie flyttede ind ultimo 2010, hvorefter 2. måleperiode blev opstartet. Der er i alle målingerne lagt særlig vægt på at såvel husenes forbrug som brugernes komfort og oplevelse af at bo i husene dokumenteres.

Herudover suppleres analyserne med erfaringer fra svenske lavenergiboliger fundet via litteraturstudier.

## 2.3 Vurderingskriterier for indeklimaet

Ved vurdering af indeklimaet i en bygning ses på de forskellige fysiske parametre, der påvirker os i vores omgivelser. Ved en vurdering indgår således både det termiske, atmosfæriske, lys og akustiske klima. Parametrene er angivet i Figur 2.2. I figuren indgår desuden psykiske parametre, da de fysiske parametre kan vurderes forskelligt afhængigt af menneskets psykiske tilstand og omvendt kan menneskets psykiske tilstand påvirkes af de fysiske omgivelser.



Figur 2.2. Parametre der indgår ved vurdering af indeklima [Hyldgård et al., 2001]

Vurdering af indeklimaet i denne analyse foretages for det termiske og atmosfæriske indeklima ved brug af retningslinjerne opstillet i "DS/EN/CR 1752, Ventilation i bygninger – Projekteringskriterier for indeklimaet", hvor forholdene vurderes ud fra kategorierne A-C. [CR1752, 2001]. Målingerne er vurderet ud fra et ønske om at opnå kategori B. Kravene til opfyldelse af denne kategori er angivet i Tabel 2.1.

Temperatur	CO <sub>2</sub>	Relativ fugtighed
<b>Sommer:</b> Kat. A: 23,5-25,5°C Kat. B: 23,0-26,0°C Kat. C: 22,0-27,0°C  <b>Vinter:</b> Kat. A: 21,0-23,0°C Kat. B: 20,0-24,0°C Kat. C: 19,0-25,0°C	Kat. A: konc < 830 ppm Kat. B: konc < 1030 ppm Kat. C: konc < 1560 ppm	Her inddeles ikke i forskellige kategorier.  Det anbefales at den relative luftfugtighed ligger mellem 30%-70%

Tabel 2.1. Beskrivelse svarende til kategori B for temperatur og CO<sub>2</sub>-målinger samt anbefaling for relativ luftfugtighed. [CR1752, 2001]

Ved vurdering af dagslysniveauet i boligen stilles der i dag ikke krav til dagslysfaktoren i boliger, som dermed kan bruges som reference. I stedet anvendes i denne analyse en minimumsværdi for dagslysfaktoren på 2%, som bør kunne opnås hele vejen ind gennem rummet og ikke kun i områder, der kan betragtes som arbejdspladser. Er dette opfyldt vurderes forholdene som gode dagslysforhold. På denne måde vil dybden af rummet også kunne medtages i vurderingen, da dybe rum bør have større eller højere placerede vinduesarealer end smalle rum.

Krav til det akustiske indeklima tager udgangspunkt i DS490, *Lydklassifikation af boliger*. Kravet i nutidige boliger er opfyldelse af lydklasse C, men øget tæthed og isolering i lavenergihuse kan medføre et øget krav til dette, da lyde fra installationer inde i boligen kan opleves højere og mere generende, når støjen udefra dæmpes. Der vil vurdering af dette derfor inddrages krav til både lydklasse B og C. Lydkravene ses i



*Bilag A: Dokumentation af indeklima, hvor der også findes yderligere uddybning om de øvrige krav til indeklimaet.*

### 3. Risiko for overophedning

Et kritisk punkt i designfasen er design og placering af solafskærmning samt bortventilering af varm luft fra huset så overophedning undgås. Da lavenergihuse er tætte og velisolerede, vil der ved et stort solindfald gennem vinduerne også hurtigt blive varmt. Det er derfor væsentligt, at solafskærmning og brug af naturlig ventilation tænkes ind fra starten af designfasen for at undgå efterfølgende problemer med overophedning, som kan være svære at rette op på, når huset er opført.

Dette kapitel vil opstille problemerne med overophedning, hvilket bl.a. illustreres via et case study. Herefter beskrives brugen af solafskærmning og naturlig ventilation, som begge er muligheder til reduktion af problemet. Endvidere inddrages effekten af termisk masse både set i forhold til termisk indeklima og energiforbrug i lavenergibyggeri. Endeligt diskuteres hvordan indeklimaet i dag bliver dokumenteret i nybyggeri og hvordan krav til en sådan dokumentation vil kunne forbedre indeklimaet i fremtidigt nybyggeri.

#### 3.1 Erfaringer

Hidtidige erfaringer fra boliger bygget som lavenergibyggeri har vist, at der i en del huse hurtigt opstår meget høje temperaturer med diskomfort som følge. De høje temperaturer opstår dels pga de mange sydvendte vinduespartier, som i mange tilfælde er dårligt afskærmet fra solindfald, og dels på grund af manglede muligheder for udluftning. Dog skal det påpeges, at der er begrænsede erfaringer med størrelsen af dette problem i ældre boliger bygget efter tidligere tiders bygningsreglementer, men også ældre boliger oplever dette problem i de varme sommermåneder.

Brugen af naturlig ventilation og solafskærmning vil kunne reducere og i mange tilfælde fjerne, overtemperaturerne i boligen. Hidtil er solafskærmning ikke blevet betragtet som nødvendig ved opførsel af boliger, men dette bør i fremtidens boliger inddrages allerede fra projektets start.

En anden erfaring fra nutidigt lavenergi-byggeri er, at der i designfasen lægges stor vægt på dokumentation af bygningens energiforbrug, hvorimod indeklimaet i huset ikke vurderes og dokumenteres i tilnærmelsesvis samme grad. Husets energiforbrug skal overfor myndighederne dokumenteres via Be06. I programmet gives straf for overtemperatur, og mange bruger størrelsen af denne "straf" som en vurdering af hvorvidt indeklimaet er i orden. Dog skal det pointeres, at man ikke kan sikre et godt indeklima ud fra et energiberegningsprogram. Indeklima bør dokumenteres ud fra en beregning, der er møntet på indeklima, dvs en dokumentation af fx termisk indeklima i sommerperioden (ved vurdering af overtemperaturer), CO<sub>2</sub>- indhold i luften, dagslysforhold eller andet.

Ses der på erfaringer fra tilsvarende svenske projekter, hvor klimaet ligner det danske klima, er erfaringerne de samme. I en stor analyse lavet af Ulla Janson i 2010 samles erfaringerne fra fire svenske projekter med i alt 93 boliger på passivhusniveau i en doktorafhandling [Janson, 2010]. En af de generelle konklusioner i denne rapport i forbindelse med overophedning er, at mange af de beboere der oplever problemer med overtemperaturer også har et stor forbrug til el-apparater. Det vil sige de har en høj intern belastning, som dermed bidrager til forøgede indetemperaturer.

I et en-familiehus fra 2007 på 171 m<sup>2</sup> i Lidköping nær ved søen Vänern i Sverige er der massive problemer med overophedning. Her er manglende mulighed for både åbning af vinduer og solafskærmning årsagen til de meget utilfredse beboere i sommerperioden. Efter målingernes afslutning blev der monteret et vindue med mulighed for åbning, hvilket mindskede overtemperaturerne væsentligt. [Janson, 2010]

Samme problem med overtemperaturer findes i et energirenoveringsprojekt med 40 lejligheder i Alingsås nær Göteborg fra 2005, men i dette tilfælde er det kun beboerne i lejlighederne på 3. sal, der klager over overtemperaturer, som også bekræftes af målingerne. I de to lejligheder hvor indeklimamålingerne foretages, er der i den ene lejlighed ingen solafskærmning og i den anden lejlighed indvendige persienner. I dette byggeri opleves og registreres der ikke problemer med overtemperaturer i lejlighederne i stueetagen. Årsagen til dette er ikke yderligere analyseret. [Janson, 2010]

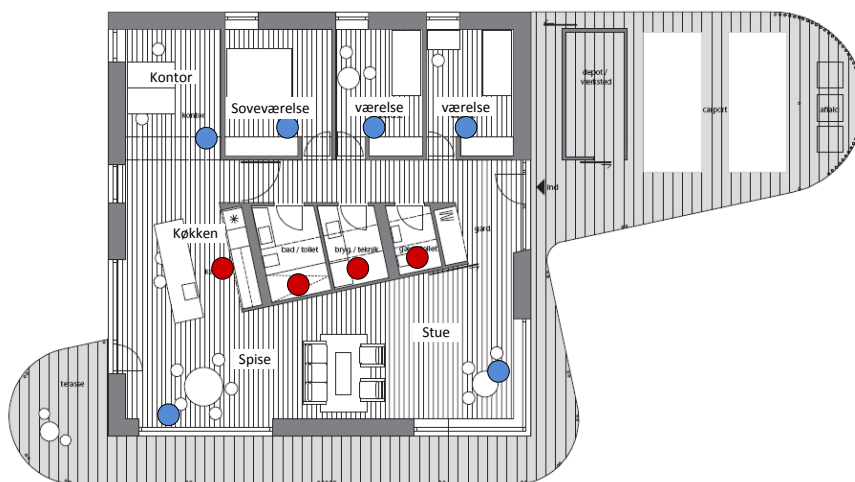
I to andre projekter med hhv 40 lejligheder og 12 lejligheder er boligerne udført med kraftige udhæng, der fungerer som solafskærmning. [Janson, 2010] Der er i begge disse projekter mindre klager over overtemperatur, hvilket illustrerer vigtigheden af brug af solafskærmning i lavenergibyggeri fremover.

### **3.2 Case study: Overtemperatur i en-familie bolig opført som passivhus**

Følgende case-study skal illustrere hvordan temperaturniveauet varierer i et en-familiehus i to efterfølgende sommerperioder samt illustrere problemet med overophedning. Huset burde, ud fra sin kvadratiske form og fastmonterede solafskærmning, være et godt eksempel på robust lavenergi-arkitektur, men alligevel er der opstået problemer med overtemperaturer i sommerperioden. Der er i husets Be06-beregning givet en straf for overtemperatur på 8,0 kWh/m<sup>2</sup> pr år, men da Be06-beregningen i dette projekt ikke var det primære designværktøj, og PHPP-beregningen brugt til passivhus-certificeringen ikke indikerede problemer, har der ikke været reageret på straffen, idet energirammen var overholdt uden problemer alligevel. Via eksemplet illustreres desuden hvordan brug af naturlig ventilation kan mindske problemet med overtemperatur.

#### **Boligen**

Boligen er et kvadratisk en-familiehus på 169 m<sup>2</sup> opført efter passivhus-standard. Grundplanen for huset er vist på Figur 3.1.

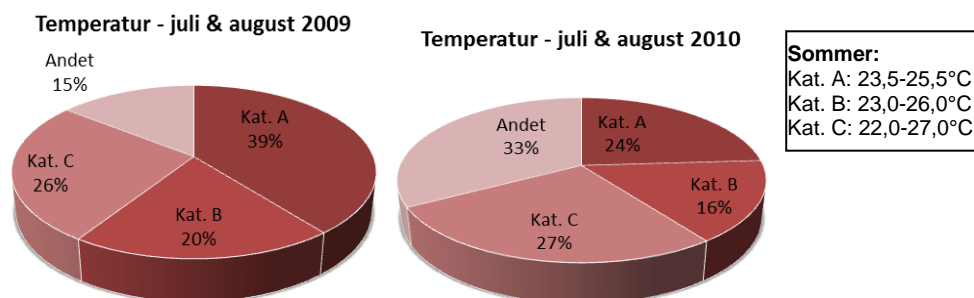


Figur 3.1. Grundplan for en-familiehus. [Aarhus Arkitekterne]

Huset har mekanisk ventilationsanlæg med indblæsning i "rene zoner" og udsugning i "forurenede zoner". Princippet er angivet i Figur 3.1, hvor indblæsning er markeret med blå cirkler og udsugning med røde cirkler.

### Erfaringer

Huset har bl.a. oplevet problemer med overtemperaturer i sommermånederne, hvilket har været værst i den sydvendte stue med store vinduespartier mod både øst, syd og vest. Ved vurdering af juli og august måned i hhv 2009 og 2010 ses, at problemet ikke er ens for de to somre. Huset har skiftet beboere i perioden mellem sommeren 2009 og 2010, så resultaterne afspejler, ud over problemer med det termiske indeklima, også hvordan brugeradfærden kan ændre resultaterne. Brugeradfærden og brugernes påvirkning på indeklimaet diskuteres yderligere i kapitel 8.



Figur 3.2. Vurdering af termisk indeklima i den sydvendte stue i juli og august hhv 2009 og 2010.

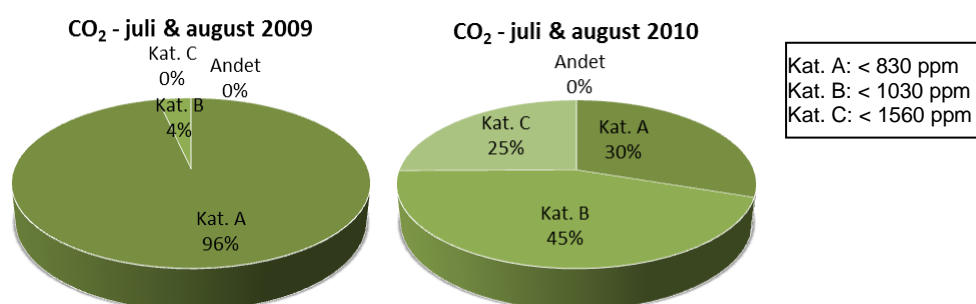
Det fremgår af Figur 3.2 at kategori B er opnået 59% af tiden i 2009 men kun i 40% af tiden i 2010. For at undersøge hvorfor denne afvigelse er opstået, vurderes hhv. udetemperaturen i perioden samt niveauet af naturlig ventilation i boligen, dvs hvor meget der har været luftet ud i boligen.

Vurderes udetemperaturen findes, at juli måned 2010 var en anelse varmere end samme måned 2009, hvilket vil have indflydelse på indetemperaturen. Derimod var august 2010 koldere end samme måned året før. Middel, maksimum samt minimum målte udetemperaturer i perioden fremgår af Tabel 3.1.

	2009			2010		
	Middel	Maks.	Min.	Middel	Maks.	Min.
<b>Juli</b>	16,8	29,4	7,8	18,3	31,2	7,0
<b>August</b>	16,7	27,3	6,9	15,3	25,3	4,6

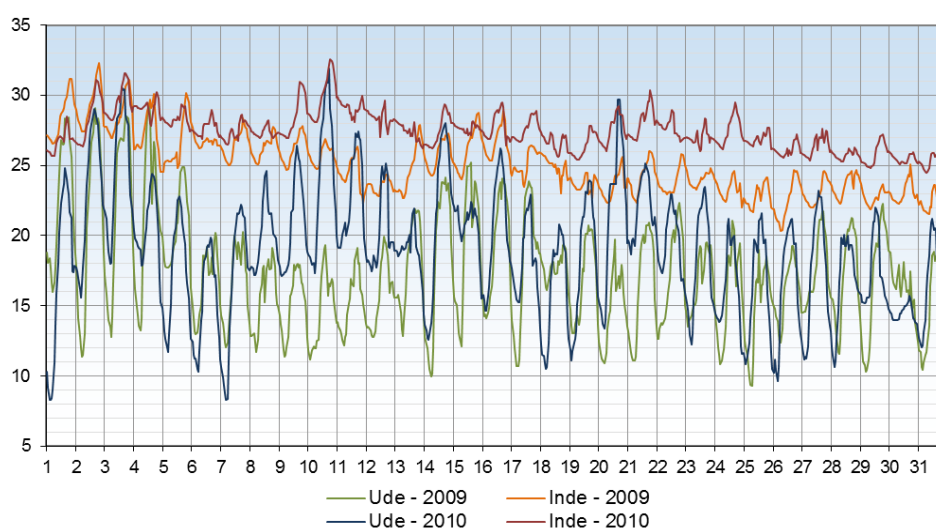
Tabel 3.1. Middelværdi, maksimum samt minimum for udetemperaturer. [DMI]

For at vurdere niveauet af naturlig ventilation i perioden sammenholdes målingerne af temperatur med det registrerede CO<sub>2</sub>-niveau i huset. Her ses, at der i 2009 opnås kategori A i 96% af tiden mod 30% af tiden i 2010. Da den interne belastning kan antages at være ens de to somre, viser dette, at den naturlige ventilation i 2009 har været væsentligt større end 2010. Den større brug af udluftning i boligen i 2009 vil dermed også have bidraget til en reduktion af problemet med overtemperatur i 2009 set i forhold til 2010.



Figur 3.3. Vurdering af luftens CO<sub>2</sub>-indhold i den sydvendte stue juli og august hhv 2009 og 2010.

Fordelen ved den øgede brug af naturlig ventilation ses også ved sammenligning af udetemperaturerne og indetemperaturene i stuen målt i hhv 2009 og 2010. Resultaterne af dette er vist i Figur 3.4.



Figur 3.4. Udetemperaturer og rumtemperaturer i husets stue målt i hhv 2009 og 2010.

Ved sammenligning af de målte temperaturer ses, at rumtemperaturen målt i 2010 stort set hele måneden ligger over rumtemperaturen i 2009 til trods for, at udetemperaturerne i en stor del af måneden følges ad. Øget brug af

naturlig ventilation i 2010 ville dermed have forbedret det termiske indeklima i huset.

Udover forøget brug af naturlig ventilation ville brug af natkøling (dvs brug af naturlig ventilation om natten) og øget solafskærmning også have kunnet afhjælpe problemet med de høje rumtemperaturer, da udetemperaturen ligger en del under indetemperaturen.

### 3.3 Integration af solafskærmning

Brug af solafskærmning i boliger har ikke hidtil været standardløsninger, men erfaringerne beskrevet i de foregående afsnit viser, at det fremover er nødvendigt at inddrage muligheden for dette i dansk lavenergibyggeri.

Ved valg af solafskærmning er der stor variation i type og teknologi, men fælles for alle typer solafskærmning er, at afskærmningen bør være udvendig, da dette giver den mest effektive afskærmning [SBI202]. Ved den udvendige løsning kommer solens stråler nemlig slet ikke indenfor i bygningen, som den gør ved indvendige løsninger, og en effektiv udvendig solafskærmning kan derfor reducere solindfaldet med omkring 70%-80% og samtidig bibeholde en del af udsynet.

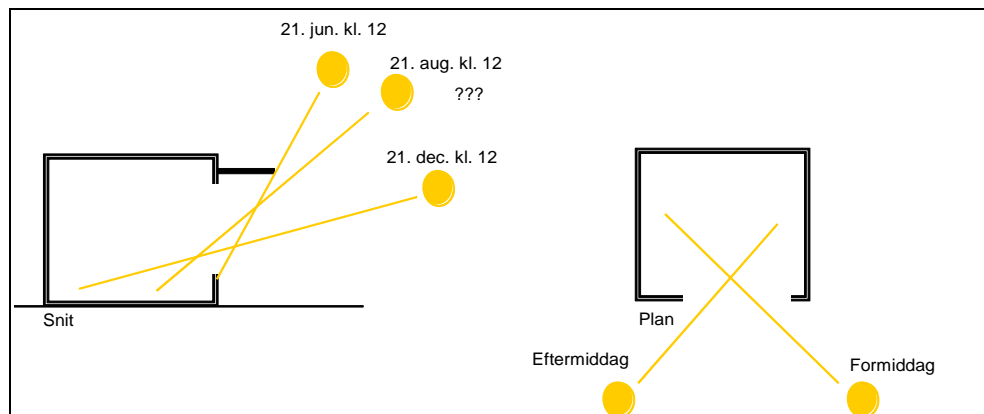
I Figur 3.5 ses fire eksempler på afskærmning. *Illustration a.* viser automatisk, integreret solafskærmning, som kan køres op under facaden, og dermed kun er synlig når den er i brug. *Illustration b.* viser fastmonteret afskærmning monteret over det nederste vindue. Her fungerer selve konstruktionen som afskærmning for den øverste del af vinduet. *Illustration c.* viser manuelle solafskærmning i form af skodder, der trækkes for vinduerne kombineret med fastmonteret afskærmning over vinduerne. I *Illustration d.* er det tiltænkt, at der med tiden skal vokse løvfaldende beplantning op som afskærmning over terrasserne på hhv 1. sal og stueplan.



Figur 3.5. Eksempel på udvendig solafskærmning.

Der er fordele og ulemper ved alle de forskellige typer af afskærmning, og valget af løsning vil derfor variere fra projekt til projekt. Den automatiske løsning (a.) har den fordel, at der bliver rullet ned for afskærmningen selvom huset beboere ikke er hjemme. De undgår dermed at komme hjem til et overophedet hus. Ulempen ved denne løsning er prisen samt vedligehold. Ved design af fast monteret solafskærmning (b. og c.) benyttes solens højde på himlen til beregning af udhængets længde. Ofte beregnes der således, at solen afskærmes om sommeren men kommer ind i bygningen om vinteren. Ved beregningen er det væsentligt, at der regnes for et tidsinterval symmetrisk omkring 21/6 når solafskærmningen bestemmes, da det er den dag solen står højest på himlen. Hvis der kun beregnes for selve den 21/6 vil solen komme ind i bygningen alle andre dage. Problematikken i dette er illustreret i Figur 3.6, hvor det ses, at solen i det givne eksempel vil komme ind i bygningen fx i august måned, hvor der

stadig ikke er behov for det, men også formiddags- og eftermiddagssituationen, hvor solen står lavere på himlen, kan være kritisk.



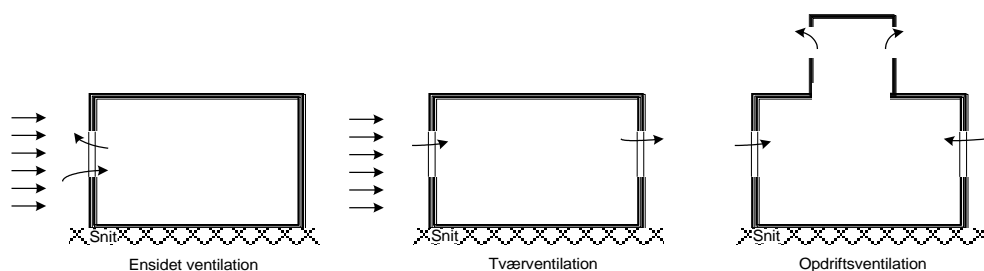
Figur 3.6. Vurdering af bygningen som solafskærmning.

Den manuelle solafskærmning med justerbare lameller eller skodder er en driftssikker løsning med et minimum af vedligehold, men korrekt brug af løsningen kræver, at brugerne husker at få rullet den for vinduerne fx om morgenen inden huset forlades.

### 3.4 Aktiv brug af naturlig ventilation

Da overtemperaturer i boligen kan fjernes effektivt ved brug af naturlig ventilation i både dag- og nattetimer er det væsentligt, at det også er muligt at bruge dette aktivt. For at sikre muligheden for dette, skal brug af naturlig ventilation indtænkes i husets design allerede fra opstarten af designprocessen.

De mest effektive måder at bortventilere den varme luft på er ved enten tværv ventilation eller termisk opdrift (kræver højdeforskel i boligen mellem åbningerne). Herudover kan suppleres med ensidet ventilation, hvor kun et vindue i rummet åbnes. De tre typer ventilation er illustreret i Figur 3.7. Opdriftsventilationen vist til højre kan også kombineres med tværv ventilation.

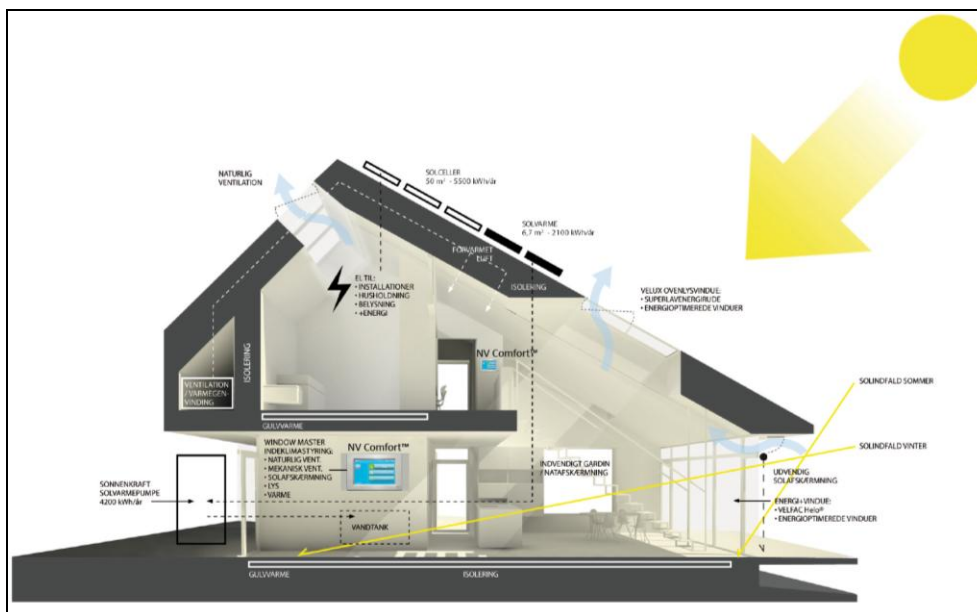


Figur 3.7. Principper for naturlig ventilation.

For at sikre en optimal løsning for brug af naturlig ventilation i boliger er det væsentligt, at der kan åbnes vinduer, eller alternativt ventilationslemme, hele døgnet rundt. Dvs at der skal være mulighed for at holde vinduerne åbne i dagtimerne, når husets beboere ikke er hjemme, og i nattetimerne, når alle sover. Dette skal naturligvis gøres med sikrede åbninger og i overensstemmelse med gældende forskriftsregler.

Et eksempel på brug af naturlig ventilation fra designfasens start findes bl.a. i "Bolig for Livet" opført i Lystrup nær Århus, hvor ventilationsåbninger til naturlig ventilation er en integreret del af designet i bygningen. Her bruges

den naturlige ventilation som den eneste form for ventilation i sommerperioden. I overgangsperioderne forår og efterår bruges hybrid ventilation, hvor enten mekanisk eller naturlig ventilation vælges afhængig af udetemperatur, således at den bedste komfort og det laveste energiforbrug opnås. Om vinteren bruges naturlig ventilation som supplement til den mekaniske ventilation med varmegenvinding. Styringen af vinduesåbningerne foregår automatisk, og princippet i ventilationsstrategien ses i Figur 3.8.



Figur 3.8. Principperne for naturlig ventilation i "Bolig for Livet" [VKR, 2010]

I sommerperioden vil styringen af den naturlige ventilation som udgangspunkt foregå efter rumtemperaturen med åbning af vinduerne for køling, men også CO<sub>2</sub> og relativ luftfugtighed kan påvirke åbningsgraden. Åbningsgraden bliver beregnet ud fra det ønskede maximale luftskifte, vejrdato osv. Brugeren kan selv øge eller mindske hvor aktiv reguleringen skal være.

Hvis der ikke er behov for køling, men der registreres en høj CO<sub>2</sub>-værdi kan styringen overgå til aktiv puls-udluftning, hvor der ventileres med korte udluftninger. Alternativt kan brugeren kan indsætte puls udluftninger på faste tidspunkter.

For at reducere energiforbruget mest muligt, startes ventilationsanlægget kun efter behov hvis én eller flere zoner kalder på hybrid assistance. Hver zone med hybridmulighed kan kalde på hybridassistance med baggrund i målinger af temperatur, CO<sub>2</sub> eller relativ luftfugtighed.

Som nævnt er en del af vinduesåbningerne i dette eksempel tænkt til brug af naturlig ventilation allerede fra projektets opstart. Dermed kunne det også indtænkes, at der skal tyverisikres således, at systemet kan fungere i et tomt hus samt i nattetimerne, hvor natkøling er en del af ventilationsstrategien. Placering og udformning af åbningerne ses i Figur 3.9.





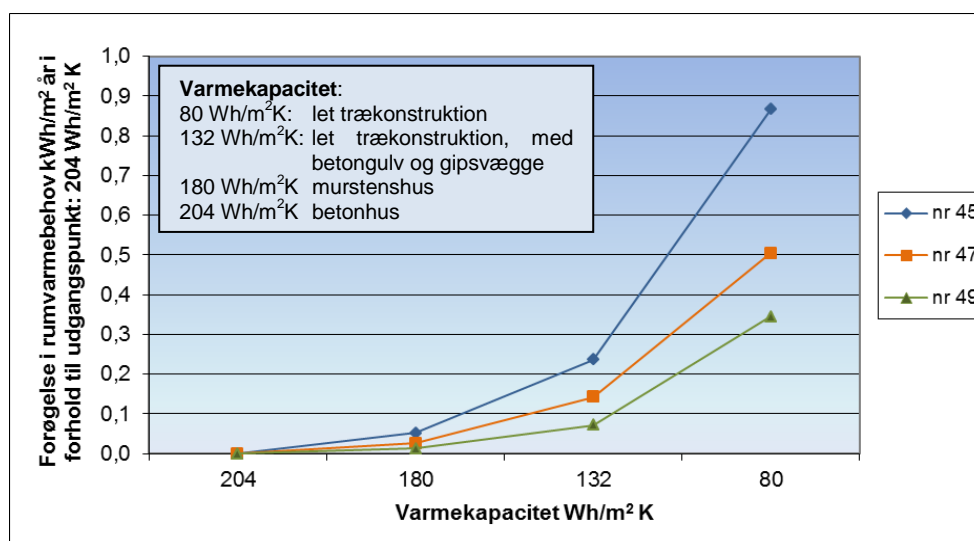
Figur 3.9. Placering af ventilationsåbninger i "Bolig for Livet" [VKR, 2010]

### 3.5 Effekt af termisk masse

Der er i Komforthusene i Vejle brugt flere forskellige løsninger til konstruktion af huset, gående fra (tunge) betonkonstruktioner til (lette) trækonstruktioner. I den forbindelse blev det i processen diskuteret, hvorvidt den termiske masse er vigtig i et lavenergibyggeri for således at kunne lagre overskudsvarme og dermed udjævne indetemperaturen og undgå meget høje temperaturer indendørs.

Erfaringerne har vist, at den termiske masse kan skabe problemer i de tilfælde, hvor den ikke køles ned i løbet af natten – dvs hvor den naturlige ventilation ikke leverer en køleeffekt, der er stor nok til at kunne køle konstruktionen ned. Erfaringsmæssigt kræves der et luftskifte på ca.  $4\text{--}8\text{h}^{-1}$  i løbet af natten for at sikre en tilpas køleeffekt i konstruktioner med høj termisk masse [Artnann et al, 2008]. Køles konstruktionen ikke ned vil rummet opleves ubehageligt varmt, og i dette tilfælde vil en let konstruktion have fungeret bedre, da der her langt hurtigere kan køles ned ved udluftning.

På samme vis, som termisk masse i nogle tilfælde kan udjævne overtemperaturer om sommeren ved at lagre varmen i konstruktionen, kan det også bidrage til en besparelse på varmeregningen i opvarmningssæsonen. Figur 3.10 viser hvorledes rumvarmebehovet ændres når den termiske masse i bygningen mindskes. Analysen er lavet i forbindelse med Komforthus-projektet, og er baseret på PHPP-beregningen fra tre forskellige huse i projektet. [Komfort Husene: erfaringer, 2010]



Figur 3.10. Ændring i rumvarmebehov ved ændring af husets varmekapacitet. [Komfort Husene: erfaringer, 2010]

Det ses af beregningen, at varmebehovet stiger ved mindre termisk masse i konstruktionen, da evnen til at lagre varme fra perioder med fx stort solindfald reduceres. Ved en variation fra det tungeste byggeri til let byggeri, kan det ekstra rumvarmebehov variere fra 0,3 til 0,9 kWh/m<sup>2</sup> år. Det største spring er fra let til meget let byggeri (132 til 80 Wh/m<sup>2</sup>K), hvor kurvens hældning ændres kraftigt.

Stigningen er afhængig af husets øvrige udformning, som det fremgår af eksemplet, hvor der er brugt tre forskellige huse. Samtidig er stigningen i varmebehov minimal, og viser det sig, at det giver større ulemper i sommerperioden end gavn i vinterperioden, bør det overvejes en ekstra gang hvorvidt stor termisk masse er gavnligt i lavenergibyggeri.

### **3.6 Dokumentation af temperaturen i kritiske rum**

Som nævnt i afsnit 3.1 dokumenteres husets indeklima kun sjældent, og ofte benyttes resultaterne fra "overtemperaturs-kontrollen" i husets energiberegning (Be06), som en vurdering af det termiske indeklima om sommeren. Denne fremgangsmåde har resulteret i mange eksempler på problemer med overtemperaturer i nutidigt lavenergibyggeri. Fremtidigt lavenergibyggeri bør derfor ændre praksis således, at der, udover aktivt at inddrage både solafskærmning og naturlig ventilation, også laves kontrol af kritiske rum i boligen ift overtemperaturer.

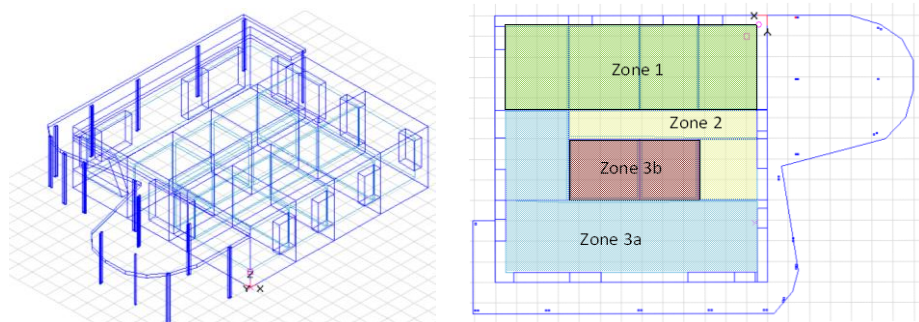
Et af problemerne ved Be06 er, at programmet regner på hele huset som et samlet volumen. Det vil sige, at der ikke skelnes mellem varme rum med stort solindfald mod syd og kolde rum mod nord. Der er derfor stor risiko for, at de sydvendte rum vil opleve overtemperatur selvom Be06-beregningen ikke viser nogen straf for dette. For at fjerne eller kraftigt reducere risikoen for overtemperaturer, bør temperaturniveauet i sydvendte rum med stort solindfald (evt også øst og vestvendte rum med stort solindfald) kontrolleres.

Niveauet af denne kontrol kan diskuteres, men der vil i det følgende afsnit blive brugt to forskellige metoder til kontrol af kritiske rum. Den første metode er en dynamisk simulering opbygget i BSim. Her modelleres hele huset, men det enkelte rum kunne også være en løsning. Denne model vil være tidskrævende og dermed dyr at foretage, så en alternativ løsning kunne være, at man i stedet brugte en simpel beregning af døgnmiddeltemperaturen i rummet kombineret med en bestemmelse af maksimaltemperaturen (døgnmiddelberegning). Denne beregning er beskrevet som metode 2.

#### **Metode 1: Dynamisk simulering**

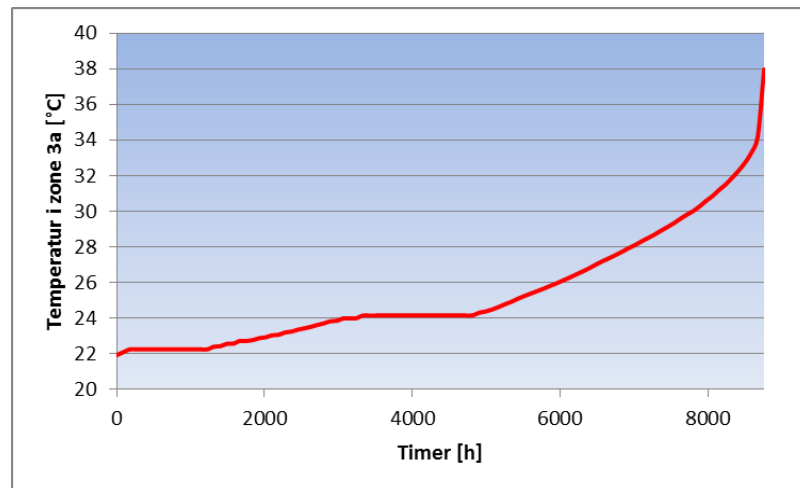
Ved denne metode er huset fra afsnit 3.2 opbygget i en BSim model. Modellen ses i Figur 3.11. Fordelen ved at foretage en dynamisk simulering for huset er, at man her vil kunne lave mere reelle profiler for brugeradfærden (tilstedeværelse eller ikke) og også vil få en langt mere reel analyse af temperaturforholdene i bygningen, da der her regnes på timebasis i modsætning til fx Be06-beregningen, hvor der regnes på månedsbasis.

Huset er i den aktuelle model inddelt i fire termiske zoner og følger samme opbygning mht U-værdier, luftskifte mm, som er fundet i Be06-modellen samt plantegninger for bygningen.



Figur 3.11. Opbygning af bolig i BSim-model.

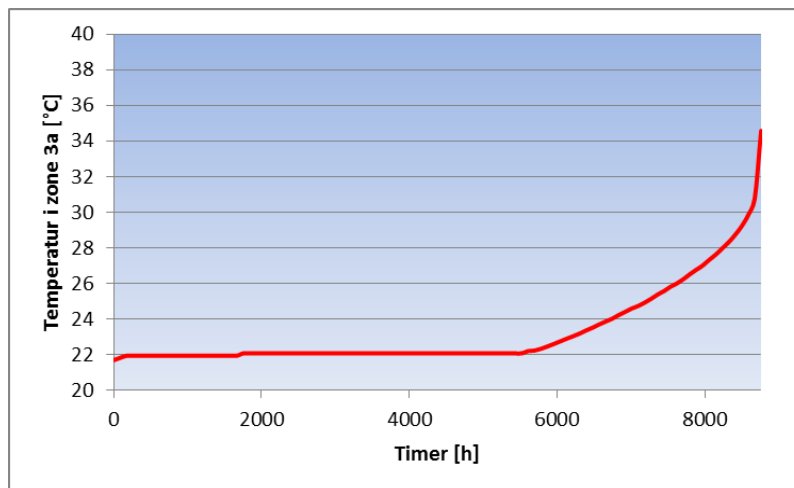
Ved analyse af temperaturforholdene i den sydvendte stue (zone 3a) i juli måned fremkommer varighedskurven vist i Figur 3.12.



Figur 3.12. Varighedskurve for simulerede temperaturer i zone 3a (sydvendt stue) i løbet af et år.

Af kurven ses, at der vil være temperaturer over 26°C i ca 32% af tiden svarende til ca 2800 timer. Derved kunne der ved brug af BSim i designprocessen have været forudsagt problemer med indetemperaturen i huset i en sådan grad, at andre løsninger til enten solafskærmning, antal vinduer eller øget brug af naturlig ventilation skulle have været inddraget.

Det fremgår af varighedskurven, at temperaturen i en lang periode ligger fast på 24°C, som er sætpunktet for den naturlige ventilation. Forøges den naturlige ventilation fra  $1,57\text{h}^{-1}$  til  $3\text{h}^{-1}$  og nedsættes temperaturen for aktivering fra 24°C til 22°C findes frem til resultatet i Figur 3.13. Her ses det, at forøget naturlig ventilation har en positiv effekt, men der er stadig 1139 timer over 26°C, hvilket stadig ikke er tilfredsstillende. Løsningen vil i dette tilfælde derfor skulle findes andre steder.



Figur 3.13. Varighedskurve for simulerede temperaturer i zone 3a (sydvendt stue) i løbet af et år ved forøget brug af naturlig ventilation.

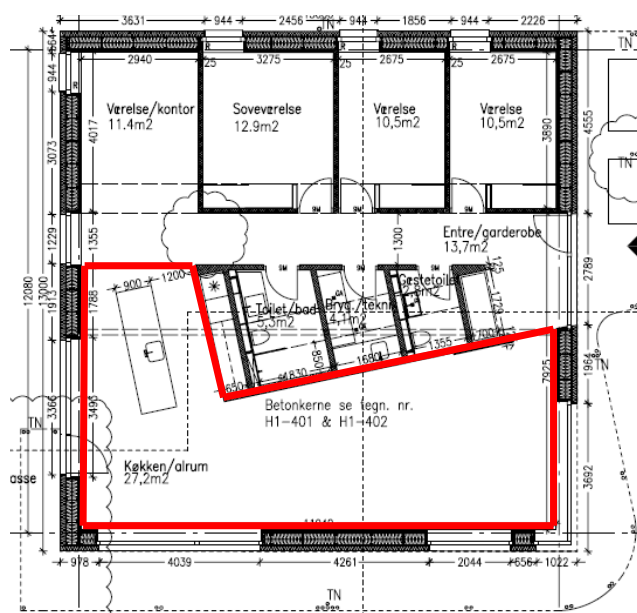
## Metode 2: Beregning af døgnmiddeltemperatur

Døgnmiddeltemperaturen bestemmes ud fra en simpel beregningsmetode, som fastlægger middeltemperaturen for et døgn i en varm sommermåned. Samtidig kan udsvingene i temperaturen beregnes således, at også maksimaltemperaturen kan vurderes. De væsentligste inputparametre er middeltemperaturen for udeluften i en given måned samt den tilhørende variation over døgnet, termisk masse, konstruktionsopbygning (i form af U-værdier), intern belastning, solindfald og ventilationsmængder. Beregningen kan typisk foretages på et par timer, da en stor del af de inddata der bruges allerede er fastlagt i Be06-beregningen.

Ved beregning af døgnmiddeltemperaturen skal det, inden beregningen gennemføres, vurderes, hvilket/hvilke rum i huset der har stort solindfald, og dermed også vil have en potentiel risiko for at opnå problemer med overtemperatur. Der regnes ved metode 2 kun for kritiske rum.

Beregningen af døgnmiddeltemperaturen foretages ud fra SBI-anvisning 202, Naturlig ventilation i erhvervsbygninger [SBI202]. Resultaterne af beregningen gennemgås i det følgende. Beregningen er foretaget i "*Bilag B: Beregning af døgnmiddeltemperatur til case study*"

Ved denne beregning benyttes huset fra den foregående case study beskrevet i afsnit 3.2. Det antages i beregningen, at husets varmeste rum vil være stuen samt køkken/alrum mod syd, og dette areal betegner dermed husets kritiske rum. Det er dette rum og det tilhørende areal, som benyttes for at bestemme temperaturen i døgnmiddelberegningen. Figur 3.14 angiver hvilke zoner i huset, der bruges i beregningen.



Figur 3.14. Definition af det kritiske rum brugt i døgnmiddel-beregningen

I beregningen er der foretaget beregninger både for et hus i brug (L1) samt et tomt hus (L2). Desuden bruges både den ventilationsmængde der er angivet i husets Be06-beregning (U1) og en øget brug af naturlig ventilation (U2) (se definitioner i "Bilag B: Beregning af døgnmiddeltemperatur til case study"). Alle beregningerne foretages for med vejrdata for juni måned. Resultaterne af beregningen fremgår af Tabel 3.2

	Case A	Case B	Case C	Case D
Personlast +	L1	L1	L2	L2
belysning				
Naturlig	U1	U2	U1	U2
ventilation				
Døgnmiddel-	35,4°C	30,4°C	34,5°C	29,8°C
temperatur				
Døgnmaks.-	38,6°C	33,8°C	37,6°C	33,1°C
temperatur				

Tabel 3.2. Resultater for døgnmiddeltemperatur samt maksimaltemperatur.

Af tabellen ses det, at der i alle tilfælde opnås temperaturer langt over komforttemperaturen. Denne beregning indikerer dermed, at der i huset vil blive problemer med overtemperatur i løbet af sommeren. Det vil derfor være nødvendigt at overveje andre muligheder, såsom øget solafskærmning, reducere af vinduespartiernes areal eller mere naturligventilation (vel og mærke kun indenfor hvad der er fysisk muligt!).

### 3.7 Opsamling

Erfaringerne med overophedning i boliger er i dette afsnit analyseret. En af de vigtigste konklusioner er, at det fremover er væsentligt at inddrage muligheden for aktiv brug af naturlig ventilation i vores boliger kombineret med udvendig solafskærmning. Den aktive brug af naturlig ventilation skal forstås således, at det også i dagstimerne, hvor boligen står tom, eller om natten, skal være muligt at ventilere naturligt, og dermed gøre brug af den "gratis" køleeffekt vi får stillet til rådighed ved blot at åbne vinduerne. For at dette kan blive muligt, uden risiko for indbrud, skal åbningerne i boligen indtænkes fra designfasens start, og huset designs ud fra

muligheden for naturlig ventilation, da det kan være svært at skabe denne mulighed, når huset først er opført.

Udover inddragelse af naturlig ventilation og solafskærmning blev det diskuteret hvorvidt tunge konstruktioner (og dermed termisk masse) kan påvirke indetemperaturen i enten en positiv eller negativ retning i en varm sommerperiode. Her blev det konkluderet, at den termiske masse kun har en positiv effekt så længe det er muligt at køle konstruktionen ned i nattetimerne, dvs at brug af termisk masse kun fungerer når det er muligt at tilvejebringe et passende stort luftskifte i nattetimerne via den naturlige ventilation. Opnås dette ikke, kan den termiske masse i stedet forøge problemerne med overophedning af bygningen.

Endeligt blev det analyseret hvorvidt man, via en analyse af de termiske forhold i boligens kritiske rum i en sommerperiode, kan forudsige/reducere problemet med overtemperaturer. Problemet blev belyst via en dynamisk beregning foretaget med BSim, som er en forholdsvis dyr løsning, samt en døgnmiddelberegning, som kan foretages på et par timer. Begge løsninger afslørede et problem med overtemperaturer i det angivne eksempel, og kunne dermed have afhjulpet problemet hvis det havde været gennemført i husets designproces. Det kan derfor anbefales, at man i fremtidigt byggeri inddrager en analyse af, som minimum, det termiske indeklima i boligen i sommerperioden.



## 4. Utilstrækkelig opvarmning

I takt med at husenes varmebehov reduceres bliver korrekt dimensionering af tekniske installationer og beregning af dimensionsgivende varmetab stadig mere kritisk, idet der ofte køres lige på grænsen mellem, hvor meget varme der kan tilføres, og hvor meget varme der tabes. Dette kapitel vil beskrive erfaringerne med utilstrækkelig opvarmning af lavenergihuse og de kritiske punkter i designprocessen i denne sammenhæng.

### 4.1 Erfaringer

Ved design af lavenergihuse er det ofte meget små mængder energi der skal tilføres huset for at opvarme det i vinterperioden. Hvis der ved anlægsudformningen vælges en mulig tilført effekt, der ligger meget tæt op ad det beregnede varmetab, vil huset opleve situationer med utilstrækkelig kapacitet i anlægget så snart de aktuelle tilstande i huset afviger fra beregningsforudsætningerne. Dvs i situationer, hvor udetemperaturen er lavere end  $-12^{\circ}\text{C}$  og rumtemperaturen ønskes højere end  $20^{\circ}\text{C}$ , i situationer hvor ventilationsanlægget afrimer og ikke kan levere den forudsatte indblæsningstemperatur, i situationer hvor folk er på arbejde eller ferie, og den interne belastning er reduceret eller i andre situationer, hvor huset bare ikke svarer til beregningerne, og dermed kræver øget effekt afgivet fra husets ventilations- og/eller varmeanlæg.

Ved valg af varmeforsyning i boligen, er der i lavenergihuse i dag brugt forskellige løsninger gående fra huse udelukkende opvarmet via ventilationsluft til huse opbygget med et traditionelt vandbåren opvarmningssystem i form af radiatorer og/eller gulvvarme. Opvarmningen via luft er den billigste løsning, da installation af radiatorer og/eller gulvvarme hermed kan spares, men løsningen med luftopvarmning kan også give dårlig termisk komfort i boligen, da den besværliggør eller fjerner muligheden for individuel rumregulering. I et omfattende svensk projekt med i alt 93 boliger er en generel konklusion, at beboere der var utilfredse med opvarmningen af boligen alle efterspurgte radiatorer i stedet for luftopvarmning [Janson, 2010]. Årsagen til dette angives ikke, men det skuldes muligvis, at beboerne mangler mulighed for selv at kunne påvirke temperaturen i deres bolig.

Brugen af et vandbåren varmesystem vil kunne give beboerne mulighed for individuel regulering af temperaturer i alle boligens rum. Systemet kan enten udformes som gulvvarme eller som radiatorer. Fordelen ved radiatorerne er den hurtige reaktion ved regulering. Denne fordel er bl.a. fundet af beboerne i "Bolig for Livet", som ville have valgt radiatorer frem for gulvvarme i alle rum, hvis de havde haft mulighed for at vælge om efterfølgende. [VKR, 2010]

Ved alle typer opvarmningssystem er det dog vigtigt at der, ligesom i tidligere standard byggeri med høje varmetab, stadig beregnes et dimensionerende varmetab for alle rum på individuel basis. Hermed sikres, at rum placeret i husets hjørner (og som dermed har to ydervægge) også kan opvarmes på lige fod med resten af huset.

Brugernes adfærd spiller også en rolle når problemet med utilstrækkelig opvarmning skal vurderes. Fx via kraftig afkøling af huset i vinterperioden, hvilket sker ved manuel udluftning via vinduerne. Huset bør have mekanisk



ventilation, som skal kunne klare friskluftsbehovet i de kolde perioder, da der ved brug af mekanisk ventilation anvendes varmegenvinding, og varmetabet ved ventilation kraftigt reduceres. Brugernes rolle diskuteres yderligere i kapitel 8.

Ved vurdering af erfaringer fra lignende svenske undersøgelser ses der også en tendens til problemer med lave temperaturer i vinterperioden. Således ønskede 50% af beboerne en højere temperatur i vinterperioden i et projekt omfattende 40 lejligheder fra 2006 i Värnamo i det sydlige Sverige – de øvrige 50% var tilfredse. [Janson, 2010]

I et andet projekt med energirenovering af 40 lejligheder i Alingsås nær Göteborg i 2005 opstår der bl.a. problemer med lave temperaturer (helt ned til 16,9°C) på grund af el-besparende adfærd hos en beboer. El-forbruget i lejligheden er medregnet som internt tilskud til varmebalancen, men beboeren, som bor alene i lejligheden, er meget opmærksom på sit el-forbrug. Dette medfører, at der næsten ikke bruges el i denne lejlighed. Det interne tilskud, der normalt kommer fra el-udstyr i boligen, er derfor minimalt, hvilket gør, at der mangler tilførsel af varme fra denne kilde. Håndklæde-tørreren, som skulle supplere med varme er også el-drevet, og tændes derfor ikke af beboeren. Løsningen blev i dette tilfælde, at boligforeningen valgte at betale for drift af håndklæde-tørreren. [Janson, 2010]

I et projekt af Isakson fra 2001 analyseres energiforbrug og indeklima i 20 rækkehuse opført som lavenergihuse. Beboerne oplever her problemer med at opvarme husene, og især gavlhusene har store problemer med at holde rumtemperaturen på et komfortabelt niveau. Der er i alle boliger installeret en 900 W varmeplade i ventilationsanlægget. Dette er i gavlhusene ikke nok, og der eftermonteres derfor el-radiatorer. Flere beboere tænder ofte stearinlys og er meget bevidste om hvornår de fx skal bruge tørretumbleren for at kunne holde huset varmt. [Isakson, 2006]

#### **4.2 Case study: Varmetab fra kritisk rum**

Følgende case study er medtaget for at vise hvorledes problemet med utilstrækkelig opvarmning kan opstå, og hvordan det kan afhjælpes. I dette tilfælde er problemet opstået som en kombination af flere forskellige uhensigtsmæssige parametre, men som nævnt i afsnit 4.1, vil en enkelt afvigelse fra dimensioneringsforudsætningerne kunne skabe problemer i de tilfælde, hvor den maksimalt mulige tilførte effekt er tæt på det dimensionerende varmetab.

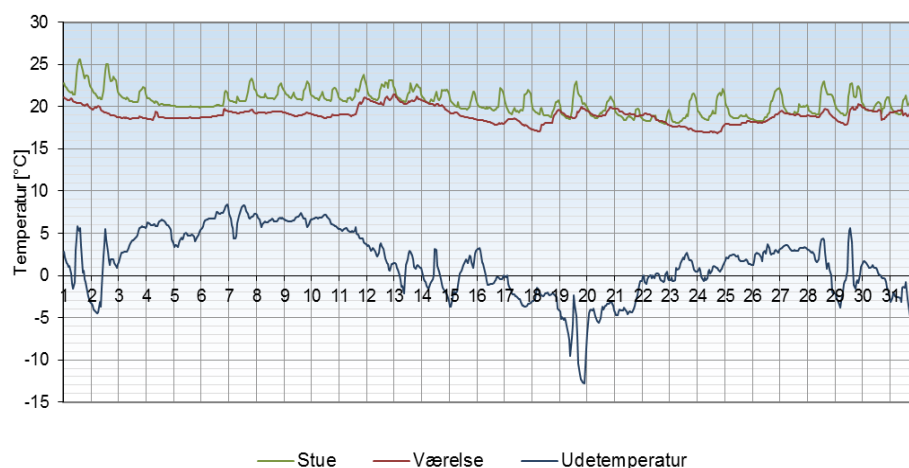
Huset brugt i dette case study er vist i Figur 4.1. På samme figur ses placering af termistatører i husets stue og værelse mod nordvest (markeret med grønne mærker). Alle statører er placeret i h=1,6 m. Yderligere information om målingerne findes i [Komforthusene].



Figur 4.1. Placering af temperaturmålingerne i stue og værelse (markeret med grønt) samt indblæsning (blå cirkler) og udsugning (røde cirkler) af ventilationsluft.

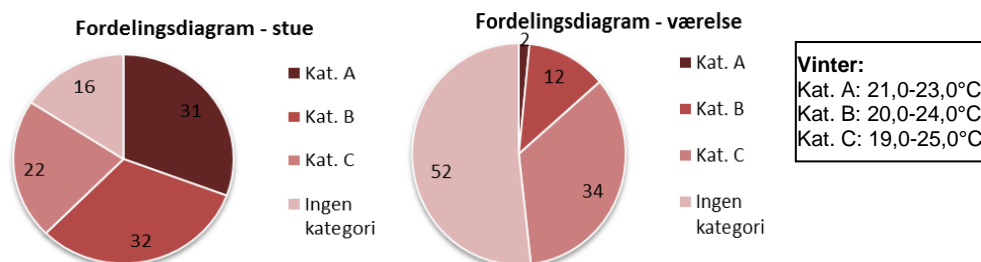
Huset er forsynet med et kompaktanlæg og tænkes opvarmet udelukkende ved luftopvarmning. Dog er der tilføjet gulvvarme via et vandbåren system i husets badeværelser (varme leveres fra jordvarmepumpe), men dette bidrag er ikke indregnet i husets varmetilskud ved dimensionering af afgivet effekt fra ventilationsluften.

Betragtes temperaturerne målt i hhv stue og værelse mod nordvest findes forløbet vist på Figur 4.2 for december samt Figur 4.4 for januar. I december ses, at indetemperaturen begynder at falde midt i december, hvor udetemperaturen falder. Dog er der i hele måneden problemer med temperaturen i værelset mod nordvest.



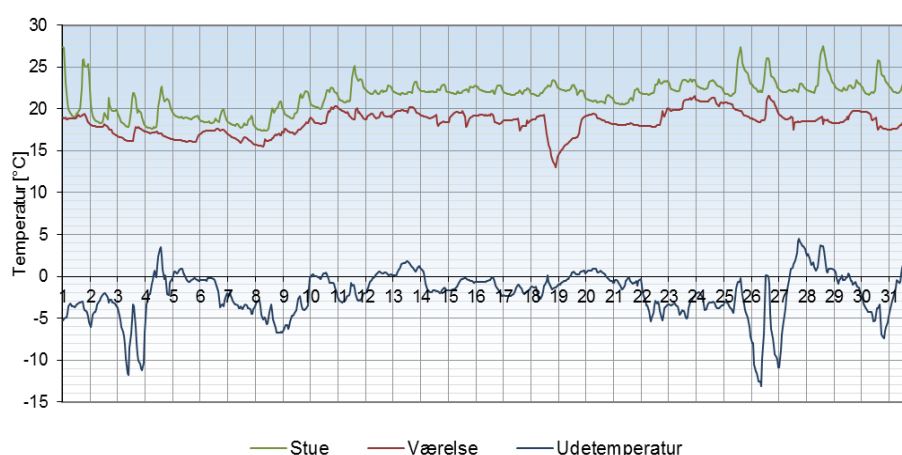
Figur 4.2. Temperaturer målt december 2009.

Temperaturfaldet, som følger udetemperaturen viser, at anlægget har nået sin kapacitetsgrænse, og dermed ikke formår at opvarme huset. Vurderes den termiske komfort i december fås fordelingen i Figur 4.3. Her fremgår det, at der langt fra har været termisk komfort (dvs temperaturer over 20°C for opnåelse af kategori B) i boligen, og især værelset mod nordvest er kritisk.



Figur 4.3. Vurdering af det termiske indeklima i hhv stue og værelse mod nordvest, december 2009.

Opvarmningsproblemerne fortsætter indtil 9. januar 2010 (jf Figur 4.4), hvor der eftermonteres en radiator i huset. Efter montering af denne opnås atter rimelige komforttilstande i stuen, men temperaturen i værelset er fortsat i underkanten, og har stadig brug for ekstra varmetilførsel, som ikke sker via den nye radiator på grund af dårlig transport af varmen mellem husets rum.



Figur 4.4. Temperaturer målt januar 2010.

På samme vis som det var tilfældet ved overophedning (jf diskussion i afsnit 3.6) er der heller ikke i dette tilfælde en ensartet fordeling af temperaturen i boligen, hvilket atter understreger det nødvendige i at regne på boligen som flere temperaturzoner, hvor varmetab og varmetilskud er forskellige fra zone til zone.

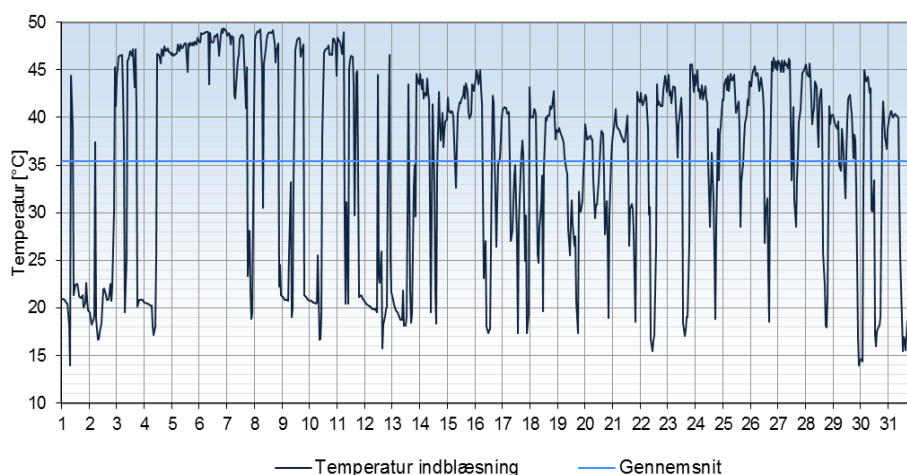
### Hvor går det galt?

Der er i ovenstående case study flere fejlkilder, og som nævnt i afsnit 4.1, er det ofte blot en enkelt parameter, der skal afvige fra beregningsforudsætningerne, for at der opstår problemer. I dette tilfælde blev problemet løst ved at indsætte en radiator i stuen tilkoblet jordvarmepumpen, da der var nok kapacitet i denne. Havde der ikke været kapacitet her, kunne en løsning have været en el-radiator, hvilket ikke ville være hensigtsmæssig i energiregnskabet.

En fejlkilde er i dette tilfælde indblæsningstemperaturen fra husets anlæg, som i beregningerne er forudsat til 52°C. Denne temperatur er hvad der anbefales fra det tyske passivhus institut, og som typisk bruges i tyske passivhuse [Feist, 2007]. Den høje temperatur vil dog kræve en høj hastighed af indblæsningsluften for at sikre en god ventilationseffektivitet, da varm luft stiger opad, og dermed naturligt gerne vil lægge sig som en pude under loftet. Dette problem er af generel karakter, og det bør pointeres, at et

armatur, som muliggør høj impuls i indblæsningsluften, bør vælges i tilfælde med forhøjet indblæsningstemperatur.

Ved vurdering af indblæsningstemperaturen i dette eksempel ses, at temperaturen aldrig når over 49°C, og gennemsnitstemperaturen kun er 35,4°C, jf Figur 4.5. I perioden efter 17. december, hvor udetemperaturen begynder at falde, bliver indblæsningstemperaturen endnu lavere. Samtidig er der mange perioder med afrimning af anlægget som medfører yderligere sænkning af indblæsningstemperaturen.



Figur 4.5. Indblæsningstemperaturen fra kompaktanlægget, december 2009.

Ulempen ved brug af luftvarme findes også i en analyse foretaget i forbindelse med valg af opvarmningssystem til Minergie® og Minergie®-P husene i Schweiz. Her konkluderes det, at ulemperne ved brug af denne type opvarmningssystem er for store i forhold til de besparelser der opnås ved ikke at bruge vandbåren opvarmning.[Minergie® Agentur Bau, 2007]

En anden fejlkilde i problemet med opvarmningen kan være manglende kontrol af varmetabet fra værelset mod nordvest. Hvis dette varmetab er større end den varme der kan tilføres via ventilationsluften, vil værelset ikke have mulighed for at opnå komforttemperaturer, da der ikke er mulighed for yderligere varmetilførsel til rummet fra fx radiatorer eller gulvvarme.

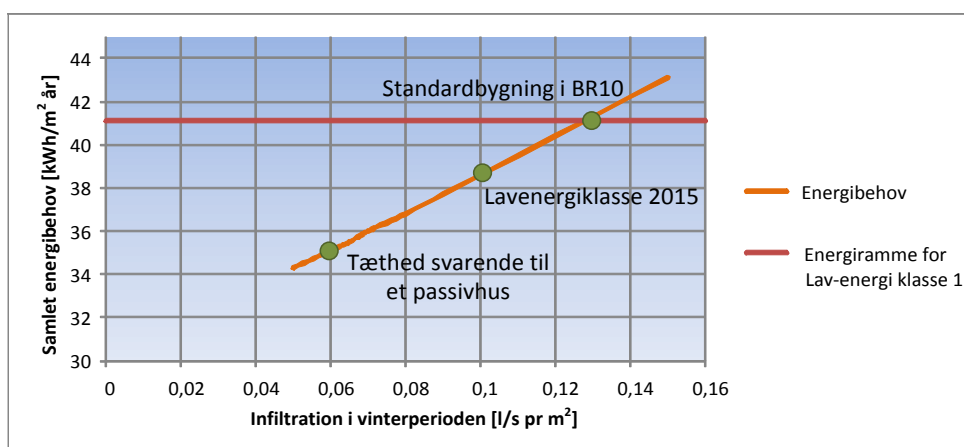
En tredje parameter, der kan ændre energibehovet og dermed medføre kolde rum pga utilstrækkelig mulighed for varmetilførsel, er brugerens vane med at udlufte via vinduerne i længere perioder i vinterhalvåret. I denne periode bør ventilationsanlægget klare udluftningen således, at varmen i udsugningsluften genanvendes via anlæggets varmeveksler. Dette sker netop ikke når der luftes ud via vinduerne, og varmetabet ved denne form for udluftning bliver dermed ekstra krævende for varmeinstallationen. Lidt det samme problem forekommer i huse uden vindfang, da store mængder af luft vil forsvinde ud når yerdøren står åbent. Her vil et vindfang kunne reducere varmetabet kraftigt.

### 4.3 Lufttæthedens betydning for varmebehovet

En væsentlig parameter for energibehovets størrelse er tætheden af byggeriet. Er byggeriet utæt, vil infiltration medføre indtrængen af koldt luft i boligen, som kræver opvarmning fra husets almindelige varmekilder. Hvis disse i forvejen er projekteret med en lille eller ingen sikkerhedsmargin, vil

en øget infiltration, i forhold til forudsætningen i beregningerne, hurtigt kunne medføre problemer med opvarmning af boligen.

For at illustrere denne problematik beregnes energibehovet for en 181 m<sup>2</sup> 2-plans bolig svarende til lavenergiklasse 1 i BR08. Den eneste parameter der varieres i beregningen er infiltrationen i vinterperioden (dvs opvarmningssæsonen, hvor dette problem vil kunne opstå). Resultatet er vist i Figur 4.6. Her fremgår det, hvor vigtig tætheden af boligen er når energibehovet beregnes, da en utæt bygning med høj infiltration hurtigt vil kunne mærke det på energiregningen til opvarmning. På figuren er medtaget infiltration svarende til både en standardbygning og en lavenergiklassebygning i BR10.



Figur 4.6. Energibehovet som funktion af infiltrationen [Larsen et al, 2011]

Udover de danske krav til tæthed er infiltration svarende til tæthedskravet i et passivhus<sup>1</sup> medtaget for at illustrere fordelene ved denne tætning, som her resulterer i en yderligere besparelse på knap 4 kWh/m<sup>2</sup> pr år i forhold til den danske lavenergiklasse 2015 bygning.

#### 4.4 Opsamling

Ved vurdering af problemer med utilstrækkelig opvarmning er et af de kritiske punkter, hvor tæt varme anlæggets maksimale effekt ligger på husets dimensionerende varmetab. Er disse to størrelser forholdsvis tæt på hinanden vil bygningen blive væsentligt mere følsomt for afvigelser mellem det opførte hus i driftstilstanden og beregningsforudsætningerne. Dog vil kraftig overdimensionering af anlægget fordyre projektet, så disse parametre skal afbalanceres.

Et andet punkt, når problemer med utilstrækkelig opvarmning skal vurderes, er den reducerede eller manglende mulighed for brug af individuel regulering af rumtemperaturen, når der udelukkende bruges luft som opvarmning. Dette kan bl.a. komme til udtryk ved de kolde hjørnerum i en bolig, som kræver øget varmetilførsel, noget der også fremhæves af Minergie® Agentur Bau i deres undersøgelse af luftvarme til opvarmning af boliger [Minergie® Agentur Bau, 2007]. Er der i boligen dårlig fordeling af varme mellem rum (fx pga lydisolering i væggene mellem de enkelte rum), vil en individuel reguleret varmeforsyning i hvert rum også kunne forbedre komforten i rummet.

<sup>1</sup> Omregningen fra de tyske krav er foretaget ud fra en antaget rumhøjde på 2,5 m og en netto/brutto faktor på 0,83.

Problematikken med den uens varmefordeling mellem rummene understreger desuden nødvendigheden i at regne på boligen som flere temperaturzoner, hvor varmetab og varmetilskud er forskellige fra zone til zone.



## 5. Behovstyret ventilation

Med BR10 er der i begrænset omfang åbnet op for muligheden for behovsstyret ventilation i etageboliger. En del teknologier er stadig under udvikling og flere nye løsninger vil komme til. Et stort problem er imidlertid at finde frem til en metode for styring af anlæggene. Der er en række problemer forbundet med at styre efter de oplagte parametre  $\text{CO}_2$ , relativ fugtighed eller temperatur, da man ved et reduceret luftskifte, som opretholder ovennævnte parametre på et acceptabelt niveau, måske udløser problemer med andre parametre såsom radon eller formaldehyd.

Ud fra ovenstående er det derfor vigtigt at få defineret hvilke parametre der skal indgå, når der tales behovstyret ventilation. I dette kapitel gives to eksempler på ventilation med fugt samt fugt og  $\text{CO}_2$  som styringsparametre. Herudover gives et eksempel på en meget simpel løsning, som også har givet gode resultater for den aktuelle interne belastning i denne bolig.

### 5.1 Erfaringer

Ideen med brug af behovstyret ventilation kommer fra et energioekonomisk synspunkt. Det kan nemlig diskuteres, hvorvidt det er nødvendigt at ventilationsanlægget bruger energi på at ventilere en tom bolig, eller på at udskifte et stort volumen af næsten ren luft i boliger med lav intern belastning, hvis der i stedet kan justeres ned på luftmængden når behovet mindskes eller forsvinder, og tilsvarende justeres op på luftmængden når behovet for frisk luft forøges. Inden der overgås til behovsstyring af boliger og et eventuelt reduceret luftskifte, er det dog vigtigt at man, udover de typiske styringsparametre som  $\text{CO}_2$ , relativ fugtighed og temperatur, også analyserer virkningen ved reduceret luftskifte set i forhold til radon eller formaldehyd, som i dag ikke er direkte målbare, og derfor ikke kan indgå i ventilationsanlæggets styring.

Det der ofte diskuteres når der skal anvendes behovstyret ventilation er, hvilken eller hvilke parametre der skal reguleres efter. Oftest anvendes fugten som parameter, hvilket bl.a. er undersøgt for lejligheder i [Bergsøe et al, 2008]. Da for høj relativ luftfugtighed vil kunne medføre bl.a. kondensproblemer på vinduer, øget vækst af husstøvmider og i værste tilfælde fugt og råd i konstruktioner, er denne parameter yderst relevant, når der skal bestemmes en parameter til styring af ventilationsmængden. Ses der på målingerne i 8 passivhuse [komforthusene] bygget i en dansk kontekst er det dog sjældent, at den relative luftfugtighed, beregnet som middelværdi over en måned, kommer over 70%. Dette forekommer kun i enkelte sommermåneder med meget nedbør. I stedet opleves meget tør luft i vintermånederne, hvilket kunne forbedres ved at nedsætte luftskiftet. Dette kan dog kun nedsættes til et begrænset niveau, da der stadig skal kunne leveres tilstrækkelig varme til huset (hvis det er opvarmet via ventilationsluft) og samtidig skal det sikres, at der ikke opstår for høje niveauer af  $\text{CO}_2$ . For at sikre dette, bør  $\text{CO}_2$ -niveauet også indgå som reguleringsparameter i dette tilfælde.

En anden relevant parameter er den oplevede luftkvalitet, men denne parameter er ikke direkte målbar, og relateres derfor ofte til måling af  $\text{CO}_2$ , da begge parametre afhænger af boligens personbelastning.



Der er i boliger ikke tradition for at bruge CO<sub>2</sub> som reguleringsparameter [Bergsøe et al, 2008], [Maripuu et al., 2009]. Et af argumenterne er prisen på CO<sub>2</sub>-følere i forhold til fugtfølere, da en CO<sub>2</sub>-føler er væsentligt dyrere end en fugtføler. Et andet argument er, at CO<sub>2</sub>-niveauet i en bolig med normal intern belastning ikke vil kunne give problemer så længe luftskiftet holdes på de anbefalede 0,35 l/s pr m<sup>2</sup>, men nedjusteres dette tal vil det være relevant også at måle på luftens CO<sub>2</sub>-niveau.

## 5.2 Case studies: Indeklimaanalyse ved brug af behovstyret ventilation

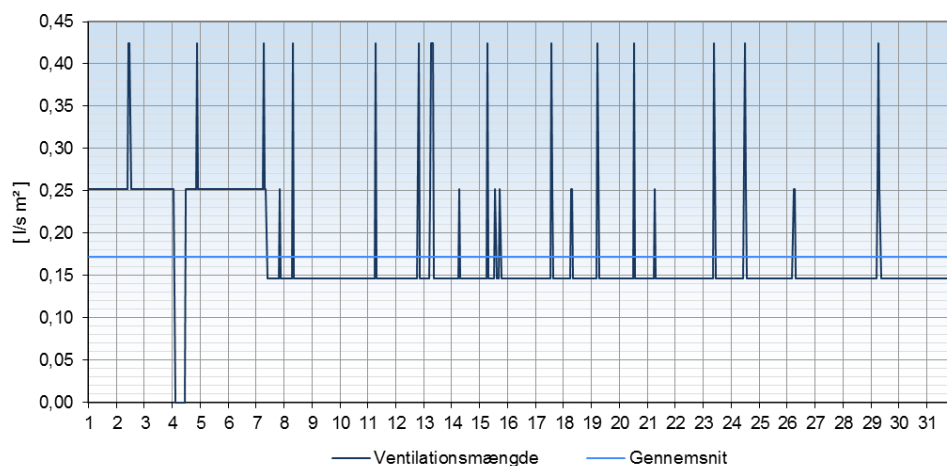
Der gives i det følgende tre eksempler på forskellig brug af behovstyret ventilation. I den første bolig reguleres der efter måling af fugt, i den anden bolig efter både fugt og CO<sub>2</sub>. I den tredje bolig ligger behovsstyringen hos brugeren i form af manuel aktivering af et øget luftskifte via et display i stuen.

### Bolig A

Boligen er et to-planshus på 165 m<sup>2</sup> opført som passivhus i 2008. Den interne belastning stammer fra to voksne og to teenage børn.

#### Styringsstrategi

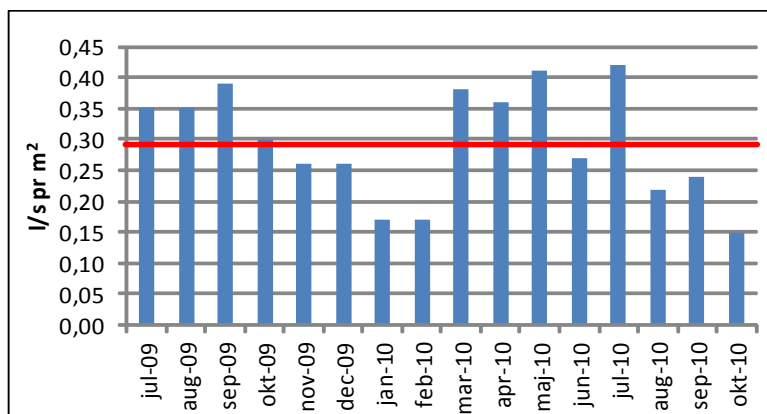
Der kan af brugeren vælges en basisventilationsmængde, hvor der vælges mellem fire forskellige trin. Ved øget fugtniveau opjusteres ventilationsmængden automatisk i en periode, hvorefter der skiftes tilbage til den valgte basisventilation. Princippet i strategien er illustreret i Figur 5.1, som viser ventilationsmængden registreret i januar 2010. Her køres der den første del af måneden på trin 2. Den 7. januar skiftes til trin 1 som basisluftskifte. Toppene på grafen viser de perioder hvor anlægget kører luftmængden op pga øget fugtindhold i luften.



Figur 5.1. Målte luftmængder i bolig A i januar 2010.

#### Resultater

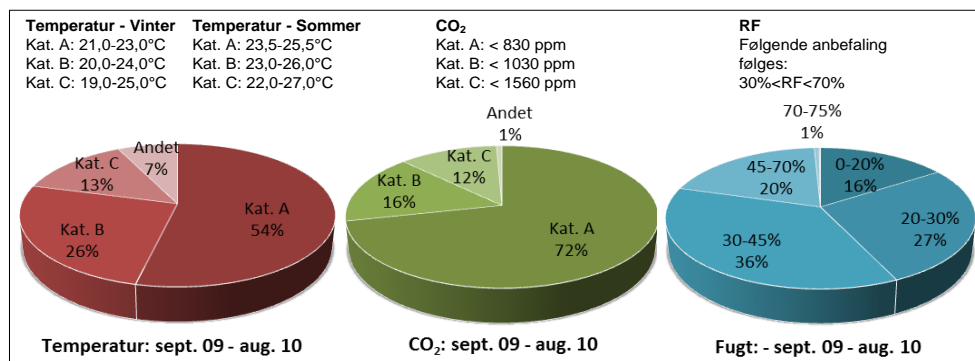
Luftskiftet frembragt ved mekanisk ventilation varierer over året, men ender samlet set næsten på de 0,35 l/s pr m<sup>2</sup>, som er kravet i BR08. Der er i dette hus givet dispensation fra BR til brug af behovstyret ventilation. De månedlige middelværdier for luftskiftet fremgår af Figur 5.2.



Figur 5.2. Månedsbaseret middelværdi for luftskifte i bolig A. Samlet middelværdi er angivet med den røde linie.

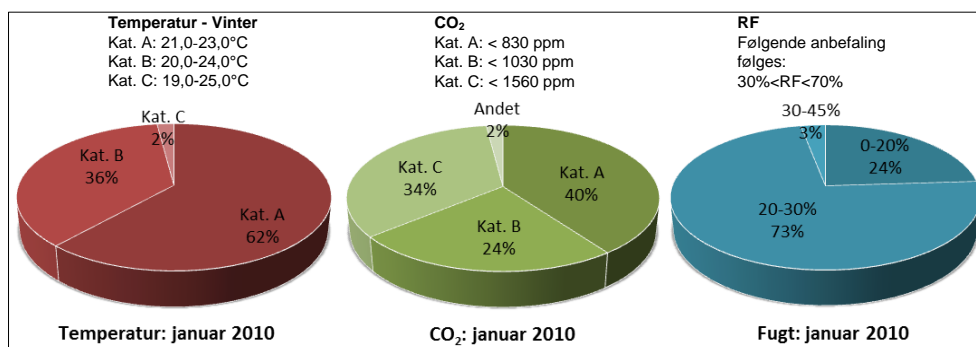
Vurderes indeklimaet i boligen i løbet af et år findes resultatet vist i Figur 5.3. Her ses det, at kategori B (iht CR1752, jf. "Bilag A: Dokumentation af indeklima") opnås 80% af tiden ved vurdering af det termiske indeklima og 88% af tiden ved vurdering af det atmosfæriske indeklima. Det termiske indeklima bærer præg af problemer med overtemperaturer i sommerperioden, som tidligere omtalt i kapitel 3. Det atmosfæriske indeklima kan betragtes som acceptabelt. Dog er der ikke anbefalinger for CO<sub>2</sub>-niveauet i boliger, men værdierne svarende til kategori B (max 1030 ppm) ligger på næsten samme niveau, som det anbefales at opretholde på arbejdspladser (1000 ppm) [At-vejledning, 2008].

Ved vurdering af den relative luftfugtighed ses, at der i 43% af tiden opnås en relativ luftfugtighed under 30%. Denne lave fugtighed opnås hovedsageligt i vintermånederne til trods for en reducere i luftskiftet i de kolde måneder.



Figur 5.3. Indeklimaparametre registreret i perioden mellem september 2009 og august 2010 i bolig A. Målinger foretaget i husets stue.

Det fremgår af Figur 5.2 at januar 2010 er en af de måneder, hvor der køres med det laveste luftskifte. Det er netop januar, der er gengivet i Figur 5.1. Vurderes indeklimaet for huset i denne måned alene findes fordelingerne angivet i Figur 5.4. Her ses det, at der for det termiske indeklima opnås kategori B i 98% af tiden. For det atmosfæriske indeklima mindskes andelen af tid i kategori B i forhold til årsvurderingen. Dette er helt naturligt, idet den naturlige ventilation (og dermed den samlede ventilationsmængde) om vinteren er mindre end i sommerperioden, hvor der suppleres med åbning af vinduer. Her opnås kategori C i 98% af perioden, hvilket svarer til en øvre grænse på 1560 ppm.



Figur 5.4. Indeklimaparametre registreret i januar 2010 i bolig A. Målinger foretaget i husets stue.

### Energiforbrug til lufttransport

Ved vurderingen af energiforbruget til ventilation, kan der for denne bolig ikke gives et reelt bud på energiforbruget, idet SEL-værdien (specifikt elforbrug til lufttransport) i anlægget er langt højere end tilladt i BR08 (her er kravet 1,2 kJ/m<sup>3</sup>), og dermed medfører et kraftigt forøget energiforbrug til ventilation. Den målte månedslige middelværdi varierer mellem 1,4 og 3,1 kJ/m<sup>3</sup>. Den høje værdi skyldes formentlig uhensigtsmæssig kanalføring.

### Bolig B

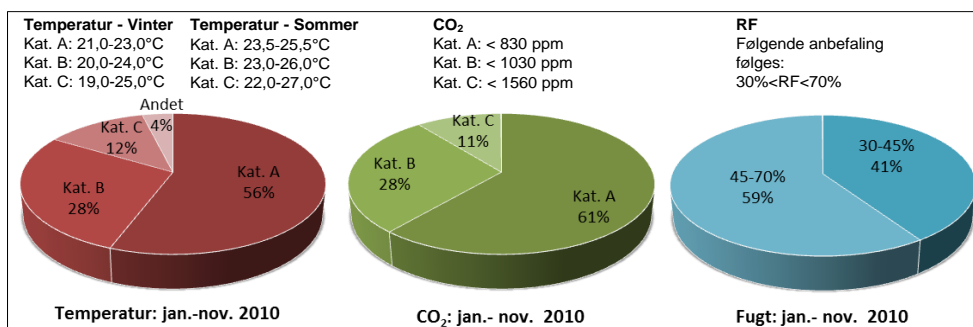
Boligen er et to-planshus på 180 m<sup>2</sup>. Huset er opført i 1972, men har, efter energirenovering til lavenergiklasse 1, fået monteret mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding. Tætheden af huset er målt med blowerdoor-test til 0,97 l/s pr m<sup>2</sup> ved 50 Pa, hvilket er tæt på de 1,0 l/s pr m<sup>2</sup>, som svarer til kravet til lavenergiboliger i det kommende BR10. Den interne belastning stammer fra to voksne og tre børn.

### Styringsstrategi

I bolig B reguleres der både efter fugt og CO<sub>2</sub>. Fugtfølerne er placeret i husets to badeværelser og CO<sub>2</sub>-føleren er placeret i selve aggregatet således, at der ved CO<sub>2</sub>-målingen kun reguleres efter en middelværdi for CO<sub>2</sub>-niveauet i hele huset. Denne løsning er valgt pga prisen på CO<sub>2</sub>-følerne. Der køres i denne bolig også med et basisluftskifte (ca. 0,5h<sup>-1</sup>), som der opjusteres ud fra ved behov.

### Resultater

Der findes i skrivende stund ikke data for et helt år i huset, men Figur 5.5 viser resultatet af målinger foretaget fra januar 2010 til og med november 2010. Her ses, at det opnåede termiske og atmosfæriske indeklima svarer meget til resultaterne fra Bolig A. Det der i denne bolig adskiller sig fra den foregående bolig er den relative luftfugtighed, som i denne bolig ligger indenfor anbefalingerne til RF hele året rundt. En årsag til dette kan være beboeradfærd ift tørring af tøj indendørs, badevaner eller lignende.



Figur 5.5. Indeklimaparametre registreret i perioden mellem januar og november 2010 i bolig B. Målinger foretaget i husets stue.

#### Energiforbrug til lufttransport

SEL-værdien for Bolig B's ventilationsanlæg ligger omkring 1,0 kJ/m<sup>3</sup>.

#### Bolig C

Bolig C er et et-planshus på 177 m<sup>2</sup> opført som passivhus i 2008. Huset er opvarmet af gulvvarme samt delvis ventilationsluft. Huset er projekteret med 800 W til luften og ca. 2000 W til gulvkreds. Den interne belastning stammer fra to voksne og et barn.

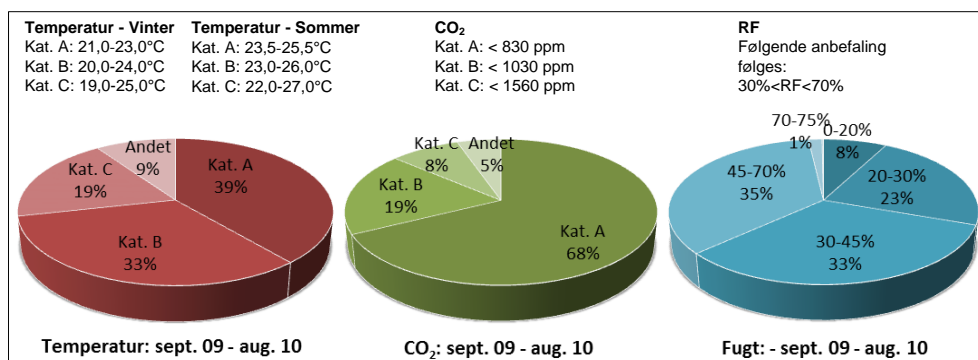
#### Styringsstrategi

I bolig C har beboerne valgt at køre med konstant lavt luftskiftskifte. Det kan diskuteres hvorvidt ventilationsformen i dette hus er behovstyret, da luftmængden kun ændres ved manuelt tryk på en knap, som forøger luftskiftet i huset i en time. Eksemplet er medtaget for at illustrere, at der ved lavere luftskifter end de anbefalede 0,5h<sup>-1</sup>, og dermed lavere energiforbrug til ventilation, også kan opnås et godt indeklima ved vurdering af parametrene temperatur, CO<sub>2</sub> og relativ luftfugtighed. Dog skal det understreges, at luftskiftet skal tilpasses den interne belastning, da højere belastning også vil medføre et øget ventilationsbehov. Risikoen for problemer med fx radon eller formaldehyd, som kan opstå som følge af det mindre luftskifte er ikke blevet analyseret/målt i dette tilfælde.

#### Resultater

Luftskiftet i boligen ligger på 0,23 l/s pr m<sup>2</sup>, hvilket svarer til ca. 0,32h<sup>-1</sup>. Muligheden for manuelt at forøge luftskiftet aktiveres kun sjældent (1-2 gange pr måned).

Ved vurdering på årsbasis af det opnåede indeklima i bolig C findes fordelingerne vist i Figur 5.6. Der er også i dette hus problemer med overtemperatur, hvilket kommer til udtryk i vurderingen af det termiske indeklima. Ved vurdering af CO<sub>2</sub>-niveauet i bygningen opnås kategori B i 87% af tiden og kun 5% af tiden er grænsen for kategori C overskredet. Endelig ses det, at antallet af timer med RF under 30% er reduceret til 31% af tiden i forhold bolig A, som kørte med et højere luftskifte, hvor dette galt 43% af tiden.



Figur 5.6. Indeklimaparametre registreret i perioden mellem september 2009 og august 2010 i bolig C. Målinger foretaget i husets stue.

### Energiforbrug til lufttransport

SEL-værdien for Bolig C's ventilationsanlæg ligger omkring 0,5 kJ/m<sup>3</sup> ved den anvendte luftmængde.

## 5.3 Opsummering

Alt tyder på, at fremtidens boliger bliver større og større samtidig med at vi bor færre personer i boligerne. Det vil sige, at vi får større antal m<sup>2</sup> pr person, hvilket samtidig medfører, at behovet for frisk luft pr m<sup>2</sup> bolig reduceres - i al fald når parametrene temperatur, CO<sub>2</sub> og fugt vurderes.

Det har hidtil været krævet, at ventilationsmængden pr m<sup>2</sup> bolig skal opfylde et fast minimumskrav [BR08, BR10], men i takt med et faldende behov i boligerne på grund af ovennævnte, bør det vurderes, hvorvidt dette krav skal fastholdes, eller en reduktion, og dermed en energibesparelse, kan tillades.

I dette kapitel er der gennemgået tre forskellige former for behovstyret ventilation, som alle giver et tilfredsstillende indeklima. Dog findes der i vinterperioden et højere CO<sub>2</sub>-niveau, da den naturlige ventilation i boligen reduceres, men niveauet er ikke kritisk for det atmosfæriske indeklima. Bolig A og bolig B er begge styret automatisk via målinger af hhv fugt og en kombination af fugt og CO<sub>2</sub>. Disse løsninger sikrer en robust ventilationsmetode i boligen, hvor der tages hensyn til variationen af den interne belastning. Af de to løsninger, vil bolig B give den mest sikre løsning, da der her også kan reguleres efter CO<sub>2</sub>. Dette vil med et luftskifte på 0,5 h<sup>-1</sup> oftest kun være et problem i korte perioder med gæster i boligen, men hvis man fremover tillader et luftskifte mindre end 0,5 h<sup>-1</sup>, kan det diskuteres hvorvidt den ekstra investering er nødvendig. Dog skal små rum med høj intern belastning sikres et godt luftskifte. Dette er typisk soveværelser og børneværelser, hvor der er belastning hele natten. Børneværelserne er i nogle tilfælde ekstra kritiske, da der i disse rum også er belastning i dagstimerne.

I bolig C køres konstant med et lavere luftskifte, som kun varieres ved et manuelt tryk på en knap, der udløser højere luftskifte i en time. Denne løsning giver en stor usikkerhed på hvorvidt et godt indeklima opnås, da løsningen vil afhænge af antallet af beboere i boligen. Da ventilationsmængden næppe justeres ved ændring af antal beboere (fx i forbindelse med nye ejere) kan løsningen ikke betragtes som robust. Dog kan der ikke ses bort fra det faktum, at løsningen i bolig C er billig, da alt reguleringsudstyr kan spares. Det kan derfor overvejes, om man via en

simpel metode kan indtaste antallet af personer i ventilationsanlægget, som herefter varierer luftmængden ud fra den interne belastning.

En anden vigtig parameter ved vurdering af energieffektiviteten i ventilationsanlæggene er SEL-værdien. Som det fremgår af eksemplerne i afsnit 5.2 er der stor variation på SEL-værdien til trods for, at alle anlæggene er opstillet indenfor de sidste 2-3 år. En høj SEL-værdi kan ødelægge selv de bedste hensigter om at lave et effektivt og energivenligt ventilationssystem, så det kunne derfor være en mulighed, at dette som standard dokumenteres ved aflevering af byggeriet ud fra målinger på det opstillede anlæg.



## 6. Optimering af dagslys

Hidtil har energiforbruget til dagslys ikke været indregnet i energiberegningen for boliger. Undersøgelser viser, at forbruget til -belysning i boliger svarer til ca. 7-10% af det samlede energiforbrug i en standard bolig i dag [Marsh, 2008], [Gram-Hanssen, 2005], men i takt med et faldende energiforbrug til opvarmning og bygningsdrift vil elforbrugets andel af det samlede energiforbrug vokse mere og mere.

Øget brug af dagslys i boligen medfører, udover en energibesparelse på el til belysning, også kvalitative aspekter; æstetiske, oplevelsesmæssige, sundheds- og komfortmæssige forbedringer, som ikke er medtaget her.

Mængden af dagslys i rummet afhænger af arealet og placeringen af vinduer i facaden og taget, men skal dog samtidig balanceres og styres med solafskærmning i forhold til direkte solindfald, da der ofte er en tendens til en massiv overrepræsentation af sydvendte vinduer i lavenergiboliger og kraftigt reduceret glasareal i de nordvendte rum. Dette kan medføre mørke rum i den nordlige del af huset samt risiko for overophedning, blænding og stærke kontraster i de sydvendte rum, hvis der ikke er en helt klar strategi for solafskærmning. Samtidig kan de meget åbne facader i tættere byområder medføre indbliksgener og dermed utilsigtet brug af solafskærmningen, hvis beboerne, i perioder med behov for solindfald, kører solafskærmningen for ruderne for at reducere mulighederne for indblik gennem vinduerne, som det er erfaret i "Bolig for Livet" [VKR, 2010].

Denne problematik vil blive diskuteret i dette afsnit sammen med eksempler på hvordan der opnås øget dagslyskvalitet i fremtidige boliger. Herudover vurderes hvordan energiforbruget påvirkes afhængig af vinduernes størrelse og orientering.

### 6.1 Erfaringer

Som nævnt i afsnit 2.3 er der ved vurdering af dagslysniveauet i en bolig ikke krav til dagslysfaktoren. Det kan derfor være svært at finde frem til en endelig løsning her, men i det følgende gives eksempler på løsninger, som også af brugerne har været oplevet som gode dagslysforhold. [Brunsgaard, 2010] og [VKR, 2010]. Metode til måling/bestemmelse af dagslysfaktor gennemgås i Bilag C: *Beregning af dagslysfaktor*.

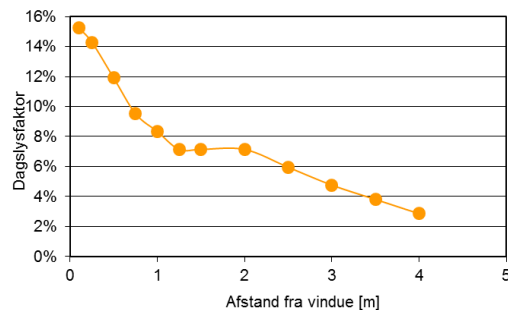
Det første eksempel er en bolig fra Komforthusene. I dette projekt er der anvendt en minimumsværdi for dagslysfaktoren på 2%, som bør kunne opnås hele vejen ind gennem rummet og ikke kun i områder, der kan betragtes som arbejdspladser. Er dette opfyldt vurderes forholdene som gode dagslysforhold. På denne måde vil dybden af rummet også kunne medtages i vurderingen, da dybe rum bør have større eller højere placerede vinduesarealer end smalle rum. [Komforthusene]





Figur 6.1. Placering af dagslysmåling (tv) samt rummet hvori måling A er placeret (th)

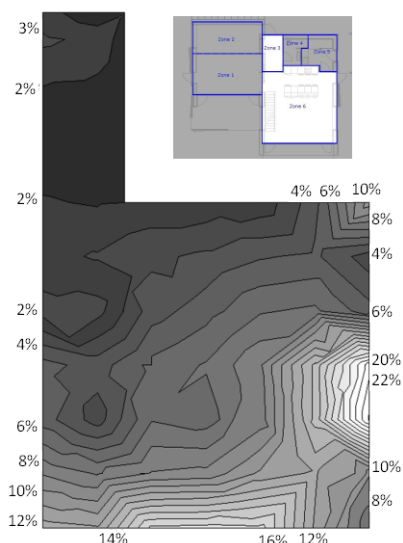
I rummet hvor måling A (jf Figur 6.1) er placeret, er der store vinduespartier placeret mod hhv syd og øst. Resultatet af målingen ses i Figur 6.2. Her fremgår det, at dagslysfaktoren længst væk fra vinduet i en højde på 0,85 er målt til 2,9%, hvilket resulterer i gode dagslysforhold.



Figur 6.2. Måling af dagslysfaktor i position A.

Der har i rummet været problemer med overophedning, da der ikke er brugt hverken indvendig eller udvendig solafskærmning. Det er derfor i denne sammenhæng vigtigt at understrege, at en kontrol af det termiske indeklima i et rum som dette skal kontrolleres (jf afsnit 3.6).

Det andet eksempel på vurdering af dagslysforhold er brugt i "Bolig for Livet". Her blev det tilstræbt at opnå en middelværdi af dagslysfaktoren på 5%, hvilket er opnået via et vinduesareal på 40% af gulvarealet.



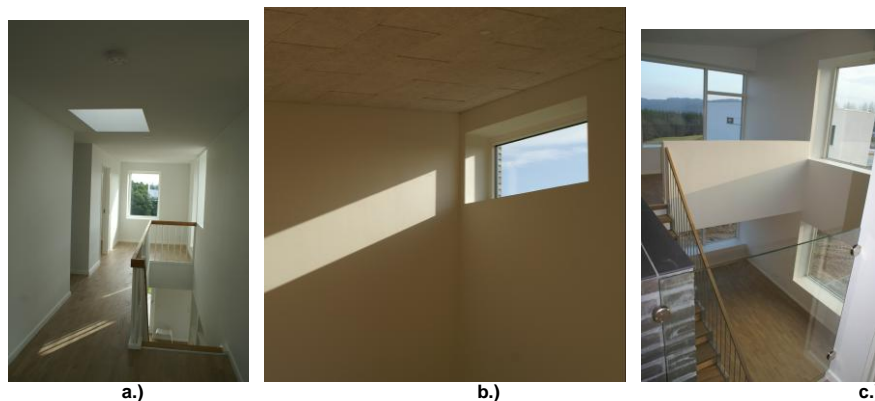
Figur 6.3. Dagslysmålinger foretaget i "Bolig for Livet" i husets alrum. [VKR, 2010]

I dagslysmålingerne fra "Bolig for Livet" ses, at der overalt opnås værdier over 2% brugt som pejling i det forrige eksempel. Målet var 5% i opholdsrum med fokus på arbejdspladser som køkkenbordet samt dagslys fra mindst to retninger i alle opholdsrum, og dette er generelt lykkedes. Desuden ses det, at der opnås høje værdier i den forreste del af rummet. Ud fra en kvalitativ og kvantitativ analyse af dagslysforholdene i dette projekt vurderes det at det ville være fordelagtigt for et mere stabilt indeklima og bedre fordeling af dagslyset at reducere vinduesarealet mod syd. Det anbefales derfor at fordele vinduesarealet yderligere så der ikke er 100% glas i de sydvendte facader men derimod større areal i de nordvendte facader. Samtidig er det fremhævet, at man ved reduktion af vinduesarealer ikke må fjerne muligheden for kig gennem huset, varieret dagslys over døgnet og året samt lys fra flere retninger i rummene, da dette opleves som en væsentlig kvalitet. [VKR, 2010]

## 6.2 Optimering af dagslysforholdene

For at sikre god dagslysfordeling i boliger er det vigtigt at overveje vinduesplaceringen. I dette afsnit vises tre eksempler på gode virkemidler. Yderligere eksempler findes bl.a. i [SBI-219, 2008].

Figur 6.4a viser et eksempel på brug af ovenlys. Ovenlyset kan bidrage til dagslys i fx dybe rum og andre områder, hvor det kan være svært at nå ind med lys fra almindelige vertikale vinduer. Desuden kan ovenlyset forøge effekten af naturlig ventilation, i de tilfælde hvor det kan åbnes. En potentiel ulempe ved ovenlys uden solafskærmning er det store solindfald gennem vinduet grundet den horisontale placering. Det er derfor nødvendigt at sikre afskærmning, hvilket kan gøres bedst udvendigt med en screen eller skodde eller indvendigt i form af gardiner eller persienner

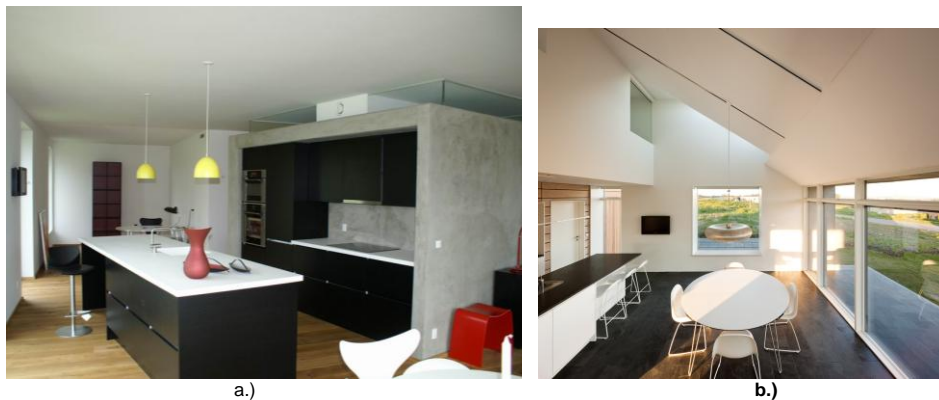


Figur 6.4. Eksempler på vinduesplaceringer der medvirker til forbedring af dagslysforhold.

Figur 6.4b viser et højtstående vindue placeret i en ydervæg. Denne placering vil forøge dagslysniveauet langt ind i rummet, og kan i nogle tilfælde lette indretningen af rummet, da det giver mere fri vægplads. Figur 6.4c viser et eksempel på brug af lys fra flere sider. I dette eksempel er vinduesarealerne dog meget store, og det er vigtigt ved brug af denne løsning, også at kontrollere risikoen for overtemperaturer i rummet.

Udover vinduesplaceringer i facaden kan brug af glas indvendigt i bygningen også medvirke til fordeling af dagslys med stor effekt. Figur 6.5 viser et eksempel på dette. På billedet til venstre (Figur 6.5a) er der brugt glas øverst over betonkernen i huset. I denne kerne er der bad, toilet og

bryggers, og via glasset transporteres der også dagslys ind til disse funktioner. I Figur 6.5b er der indsat et vindue mellem alrummet og børneværelset på 1. sal, som samtidig giver udsyn ud gennem tagvinduet fra 1. sal.

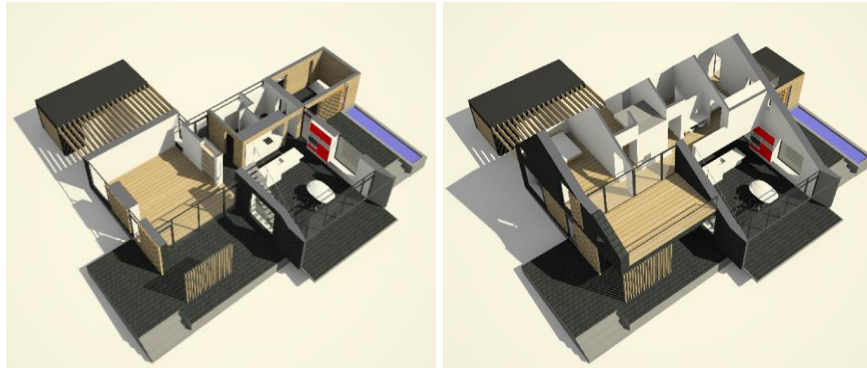


Figur 6.5. Brug af glas indvendigt i boligen til transport af dagslys.

### 6.3 Case study: Dagslysoptimering i en bolig

Følgende case study beskriver dagslysforholdene i "Bolig for Livet" opført i Lystrup ved Århus i 2009. Huset er opført i to plan med 190 m<sup>2</sup> bolig. Opbygningen af boligen ses i Figur 6.6.

I designet af huset er der arbejdet meget bevidst med dagslysindtaget. Der er arbejdet med relativt stort samlet vinduesareal, 40% af gulvarealet, ca det dobbelte af normale enfamiliehuse.



Figur 6.6. Opbygning af boligen. [VKR, 2010]

Designparametre i boligen har været, at dagslyset skulle oplyse rummene så det understreger arkitekturen og skaber et behageligt og funktionelt lys. Et af virkemidlerne er, at der i alle opholdsrum er dagslys fra mindst to retninger. Derved mindskes blænding og der fås et større dagslysindtag, der kan erstatte brug af kunstlys. Derudover har der været fokus på, at der skal være tilstrækkeligt arbejdsbelysning/funktionslys ved eks. køkkenbordet og arbejdsplads i soveværelse mod øst på 1. sal. Ved beregning af dagslysfaktorer på disse positioner er der fundet værdier på hhv 6,7% og 4,3%. Målet i "Bolig for Livet" var en gennemsnitsdagslysfaktor på 5%.

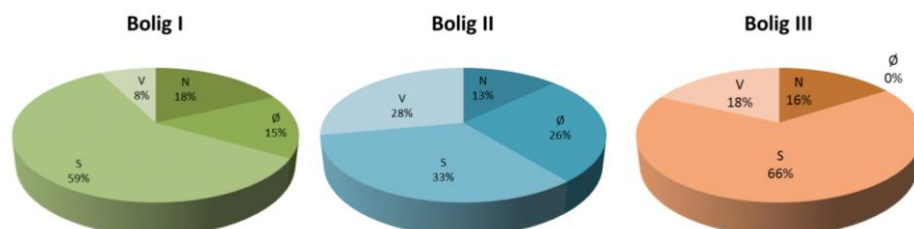
Der er endnu ikke lavet beregninger på besparelsen af kunstlys, disse foreligger efter 2. års måleperiode, som afsluttes i sommeren 2011. Ud over fokus på gode dagslysforhold, har der været fokus på at benytte

energibesparende armaturer samt styring af kunstlys, der slukker lyset når personer forlader rummet.

#### 6.4 Robusthed i forhold til rotering af bygningen

Mange lavenergihuse har væsentligt større vinduesarealer orienteret mod syd end mod nord. Dette gør, at bygningen vil være meget afhængig af korrekt placering på byggegrunden. Ved dette design reduceres samtidig muligheden for reproduktion af den samme grundplan (fx i forbindelse med typehuse), da orienteringen af huset bliver fastlåst mod syd. Havde designet af bygningen i stedet haft en jævn fordeling af vinduer i alle retninger, ville det være muligt at rotere bygningen og flytte den rundt mod alle retninger.

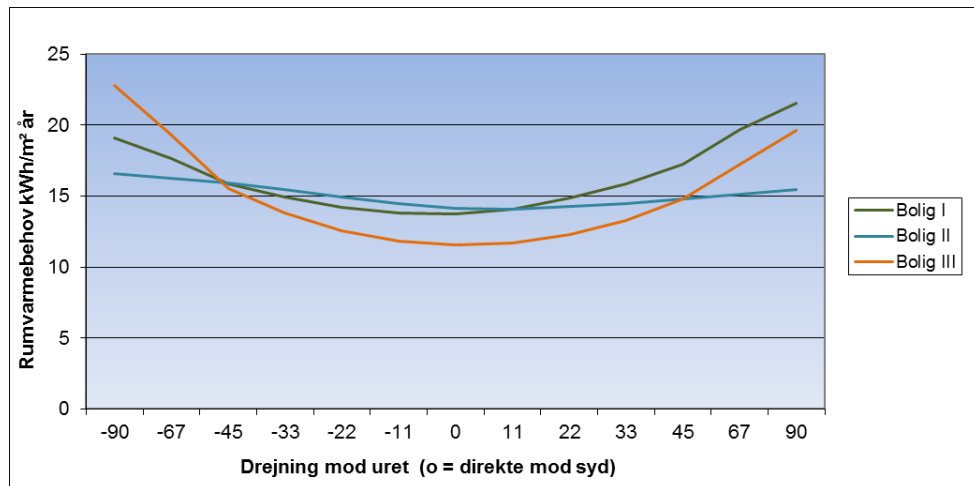
En analyse af dette foretages i det følgende for tre forskellige boliger. Boligernes fordeling af vinduer mod hhv nord, øst, syd og vest ses i Figur 6.7. Her fremgår det, at bolig I har en meget stor andel af sine vinduer placeret mod syd, bolig II har en mere jævn fordeling mod alle retninger og bolig III har en kraftig sydlig orientering af vinduerne og ingen vinduer placeret mod øst.



Figur 6.7. Fordeling af vinduesareal mod hhv nord, øst, syd og vest i tre forskellige boliger. [Komfort Husene: erfaringer, 2010]

Boligerne er alle opført som passivhuse, og skal derfor opnå et rumvarmebehov på maks. 15 kWh/m<sup>2</sup> pr år (netto areal). I det følgende analyseres rumvarmebehovet som funktion af orienteringen af huset. I analysen er alle tre huse, uanset deres faktiske placering på grunden, drejet i beregningen så de starter med facaden direkte mod syd og derefter drejes i spring af 11 grader mod henholdsvis øst og vest.

Resultatet af analysen ses i Figur 6.8. Ikke overraskende er det bolig II, med den jævne fordeling af vinduernes areal, der er mindst følsom for drejning i forhold til verdenshjørnerne. Bolig II, der har en del areal mod øst og kun lidt mod vest er mest følsom ved drejning mod øst, mens bolig III, der ikke har vinduer mod øst er mest følsom for drejning mod vest. Ud fra denne analyse tyder det på, at især en vis andel østvendte vinduer er vigtige for at sikre mod følsomhed.



Figur 6.8. Rumvarmebehovet som funktion af husets drejning ift sydlig orientering for tre forskellige vinduesfordelinger. [Komfort Husene: erfaringer, 2010]

## 6.5 Opsummering

Det diskuteres i dette afsnit hvorvidt et krav til dagslysfaktorer i boliger skal inddrages, når fremtidige lavenergiboliger designes. Argumentet for at gøre dette er, at man via øget fokus på brug af dagslys i boliger muligvis samtidig vil kunne sikre et lavere energiforbrug til elektrisk belysning, og dermed en energibesparelse på belysningsområdet.

Der gives i denne analyse to eksempler på optimering af dagslysforhold. I det ene eksempel er målsætningen en dagslysfaktor på 2% ved rummets bagvæg, for hermed at inddrage rummets dybde i vurderingen. I det andet eksempel tilstræbes der at få en middel dagslysfaktor for rummet på 5%. Desuden gives konkrete eksempler på vinduesplaceringer, som vil kunne forbedre dagslysforholdene i en bolig. Dog pointeres det ved alle sydvendte placeringer, at der samtidig bør kontrolleres for overophedning i rummet.

Endeligt analyseres betydningen af vinduernes orientering i forhold til energibehov og robusthed overfor rotering af bygningen. Ikke overraskende var det her bygningen med en ligelig fordeling af vinduer i alle retninger, der var mest robust, og dermed bedst kunne placeres på en hvilken som helst byggegrund uafhængig af orienteringen af denne. Samtidig vil en mere ensartet placering af vinduerne mod alle retninger også kunne afhjælpe problemerne med mørke rum i den nordlige del af huset samt risiko for overophedning, blænding og stærke kontraster i de sydvendte rum.

## 7. Akustik og støj fra installationer

Øget tæthed og isolering i lavenergihuse fungerer også som lydisolering mod støj udenfor huset, hvorfor lyde fra installationer inde i boligen kan opleves højere og mere generende. Fx kan radiatorventiler hyle, vandhaner og cisterner vil suse og ventilationsanlægget brumme. Der kan derfor være behov for skærpede lydkrav til installationer i fremtidens lavenergibyggeri.

### 7.1 Støj fra installationer

I målingerne foretaget i Komforthusene blev målinger af støj foretaget for ventilationsanlægget indstillet på det driftstrin, som var forventet til brug i daglig drift. Ved denne måling overholdt alle boligerne lydklasse C og langt de fleste også lydklasse B, som svarer til 25 dB. [Komforthusene]

Målingerne blev kombineret med en efterfølgende kvalitativ vurdering via interviews med beboerne. [Brunsgaard, 2010] I flere interviews fremgik det, at ventilationsanlæggene støjer, når de kører med luftmængder over driftstrinet, som svarer til standarddrift. Dvs at støj over 25 dB i disse eksempler har medført gener for beboerne til trods for, at kravet til lydklasse B var overholdt.

I forbindelse med støj fra tekniske installationer er det væsentligt at fremhæve, at selve placeringen af ventilationsanlægget og afskærmning fra støj omkring anlægget er vigtig for at opnå et godt resultat, når støj fra anlægget efterfølgende vurderes. En god løsning kan fx være at isætte en lyddør til husets teknikrum samt lyddæmpning på alle kanaler fra anlægget.

### 7.2 Akustik

Udover støj fra installationer er det væsentligt også at sikre god akustik i boligen både i form af lave efterklangstider, men også via montering af lyddæmpere mellem rum i boligen for at dermed at undgå transport af lyd fra et rum til et andet.

Et eksempel på et dårligt akustisk indeklime findes i [Brunsgaard, 2010], hvor følgende udtalelse fra en beboer kommer frem i et interview, da emnet falder på støj og akustik:

*Citat: "Det her er noget af det mest lyde jeg har boet i nogensinde. Prøv at høre her, det værelse deroppe, slår én en skid så kan du høre det helt nede i stuen. Og omvendt. Det er helt vildt. Hvis jeg skal snakke med dem ovenpå, kan jeg bare sidde hernede og snakke, det kan de høre. Det er helt elendigt, voldsomt elendigt. Alle de plader der... de virker jo ikke... De har aldrig virket...Klangen her - ja du kan jo høre det nu. Altså selvom vi har billeder oppe, blomster som egentlig skal bryde akustikken, det bryder intet. Nej det bryder ikke akustikken..."*



## 8. Brugernes rolle i fremtidens lavenergi-byggeri

Brugernes påvirkning af både energiforbrug og indeklima er en væsentlig faktor, når vurderinger af disse parametre skal foretages. Brugernes adfærd kan betyde en variation på en faktor 3-4 i boligens energiforbrug [Andersen, 2009], [Gram-Hanssen, 2005], [Janson, 2010], og det er derfor væsentligt at overveje, om vi ved påvirkning af brugerne kan forbedre indeklimaet og samtidig reducere energiforbruget.

### 8.1 Erfaringer

Meget tyder på, at kommunikation og oplysning af brugerne er vejen til succes, og der findes flere eksempler på hvordan manglende information har ført til enten dårligt indeklima eller forhøjet energiforbrug [Brunsgaard, 2010], [Janson, 2010].

Et eksempel på dette kan være beboernes brug og vedligehold af ventilationssystemet. Langt de fleste danske familier er ikke vant til at have et ventilationsanlæg i boligen, og dette vil derfor kræve information og adfærdssændring, for at der kan opnås succes og energivenlig drift. I et konkret eksempel fra Komforthusene i Vejle skal beboerne selv omstille anlægget fra vinterdrift til sommerdrift ved at udskifte veksler-modulet, som sørger for genanvendning af varmen, til et bypass-modul. Dette er blevet glemt i begge de somre anlægget har været i drift, hvilket har medført et øget problem med overtemperaturer i boligen [Komforthusene, 2010]. Ud fra denne erfaring, og andre tilsvarende, kunne man derfor overveje, om der skal være jævnlige serviceeftersyn på ventilationsanlæg på lige fod med service for vores biler.

Flere eksempler på uhensigtsmæssig adfærd er fundet i "Bolig for livet"-projektet, som nævner følgende [VKR, 2010]:

- Familien har problemer med overophedning i det store sydvendte køkken/alrum i. Moderen er på barsel og er derfor hjemme det meste af tiden. Ofte overstyrer hun den udvendige solafskærmning for at nyde udsigten, hvilket kan være en af årsagerne til, at der kan forekomme overophedning i køkken/alrum.
- Familien overstyrer ofte den automatiske styring i huset – specielt i forbindelse med styring af varme og solafskærmning for at nyde udsigten og skabe privathed i stuerne. På trods af de mange overstyringer, er familien positivt indstillet over for den automatiske styring.
- Familien oplevede lyden når ovenlysvinduerne åbnede generende i nattetimerne, hvilket resulterede i at den automatiske naturlige ventilation blev slået fra i værelserne i nattetimerne og derved reducerede muligheden for natkøling.
- Huset ventileres via automatisk naturlig ventilation sammen med mekanisk ventilation med varmegenvinding. Da den naturlige ventilation blev slået fra i november, savnede familien den friske luft og lyden af vinduer, der åbnede automatisk. De begyndte derfor at lufte ud ved manuelt at åbne vinduer og døre. Dette medførte ofte nedkøling af huset til under 22 grader, hvorpå opvarmningen sætter ind. Dermed skabtes en utilsigtet forøgelse af energiforbruget til opvarmning.



Der er derved masser af eksempler på brugere der "modarbejder" de gode hensigter i teknikken, som skal hjælpe dem til at opnå en optimal og energibesparende drift af boligen. Overstyringerne af automatikken viser også, at beboerne har behov for selv at kunne påvirke deres indeklima, og tages denne mulighed fra dem ved udelukkende at lave automatisk styring, og dermed optimal drift, vil der opnås utilfredse beboere. En anden mulighed vil derfor være mere information om hvorledes boligen fungerer og hvordan adfærden skal være for at opnå de største energibesparelser og det bedste indeklima.

## 8.2 Opsummering: Skal man være miljø-freak for at bo i et lavenergihus?

Isaksson konkluderer i en svensk undersøgelse, at brugerne ikke købte deres lavenergi-boliger fordi det var lav-energiboliger, men fordi de havde en god placering og en god udsigt. De forholder sig positivt til lav-energikonceptet, men det var ikke en vigtig grund til beslutningen af købet [Isaksson, 2006]. Samme konklusion findes i [Brunsgaard, 2010]

Samtidig beskriver Isaksson, at flere beboere ofte tænder stearinlys og er meget bevidste om hvornår de fx skal bruge tørretumbleren for at kunne holde huset varmt samt at alle indvendige døre skal være åbne for at sprede varmen i huset. Desuden nævnes tiltag som at lade badevandet afkøle i badekarret inden det lukkes ud [Isaksson, 2006]. I en anden undersøgelse fortæller Janson, at nogle brugere har kompenseret for den lave indetemperatur ved at tage ekstra tøj på før end de skruede op for varmen [Janson, 2010].

Flere af disse eksempler stiller krav til brugerne om ændret adfærd i forhold til deres tidligere boliger. Ikke alle er villige til, eller bevidste om, denne adfærdsændring, og det bør også diskuteres, hvorvidt det skal være nødvendigt med en ændret adfærd for at bo i et lavenergihus. Beboere uden en "energigivenlig" adfærd skal også kunne bo i lavenerjihuse uden at dette føles som en begrænsning i deres adfærd. Der bør derfor aldrig indskrænkes i beboernes personlige komfort – bliver dette nødvendigt vil lavenergikonceptet ikke kunne opnå succes.

Svaret på spørgsmålet i overskriften er derfor et "nej", men samtidig skal det fremhæves, at nogle af lavenergihusenes beboere bestemt interesserer sig for indeklima og energiforbrug i deres bolig. Således dette citat fra "Bolig for livet" [VKR, 2010]:

*Citat: " Det var åbenlyst her i søndags da solen kom frem. Der skulle jeg også bare lige se. Påvirker det virkelig produktionen? Yes! Det gjorde det! Så det var sådan en 'juhuu-oplevelse'! Ja det var faktisk rigtig sjovt og det er pragtfuldt! Pragtfuldt simpelthen! [...] De der små oplevelser: Yes! Det gør en forskel! Der er noget i vores hus der producerer. Der er noget fornuft i det der. Der er noget at bære på. Det er super!" Sverre Simonsen*

## 9. Referencer

- Andersden, R.V. Occupant behavior with regards to control of the indoor environment, phd thesis, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, May 2009
- Artmann, N., Manz, H., Heiselberg, P., *Parameter study on performance of building cooling by night-time ventilation*. Renewable Energy 33 (12), pp 2589 – 2598, December 2008.
- At-vejledning A.1.2, Arbejdstilsynet, Januar 2008
- Bergsøe, Niels Christian; Afshari, Alireza, *Fugtstyret boligventilation: Målinger og evaluering* (SBI; 2008:08), Statens Byggeforskningsinstitut, SBI, 2008.
- Brunsgaard, C., *Understanding of Danish Passive Houses based on Pilot Project Comfort Houses*. Aalborg University, Department of Civil Engineering, ISSN-nr: 1901-7294, Thesis nr. 28, 2010.
- DS/EN/CR 1752, *Ventilation i bygninger – Projekteringskriterier for indeklimaet*, Dansk standard, 2001
- DMI, Danmarks metrologiske institut. Vejrdata målt for målestation 6104, Billund
- DS490, *Lydklassifikation af boliger*, Dansk standard, 2007
- Energistyrelsen. Energistatistik 2009. Energistyrelsen, 2010.
- Feist, W, *Passive House Planning Package 2007 – Requirements for Quality approved passive houses*, Passive House Institute, 2007
- Gram-Hanssen, K., *Husholdningers elforbrug – hvem bruger hvor meget, til hvad og hvorfor?*, SBI2005:12, Statens Byggeforskningsinstitut, 2005
- Hyldgård, C.E; Funch, E.J.; Steen-Thøde, M., *Grundlæggende klimateknik og bygningsfysik*, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, 2001. ISSN 1395-8232 U9714
- Ingeniøren (tidsskrift), Lavenergihuse plages af overophedning og kolde rum, Ulrik Andersen, 27-08-2010
- Isaksson, C., Karlson, F., *Indoor Climate in low-energy houses – an interdisciplinary investigation*, Building and Environment 41 (2006), pp. 1678-1690.
- Janson U., *Passive houses in Sweden - From design to evaluation of four demonstration projects*, Report EBD-T--10/12, ISBN 978-91-85147-46-5, Lund University, Faculty of Engineering LTH, 2010.

*Komforthusene, Demonstration af energiforbrug og indeklima i 10 danske passivhuse.* Forskningsprojekt udført af Aalborg Universitet i perioden 01-06-08 → 31-12-11.

[http://vbn.aau.dk/da/projects/demonstration-af-energiforbrug-og-indeklima-i-10-danske-passivhuse\(10c960c0-db35-4bcc-a141-34f77dac9aae\).html](http://vbn.aau.dk/da/projects/demonstration-af-energiforbrug-og-indeklima-i-10-danske-passivhuse(10c960c0-db35-4bcc-a141-34f77dac9aae).html)

*Komfort Husene : erfaringer, viden og inspiration.* Saint-Gobain Isover a/s, 2010. 259 s.

Larsen, T.; Maagaard, S., *Renovation of a detached single-family house to an energy efficient low energy house*, i proceedings til NSB2011, 9th Nordic Symposium on Building Physics, Finland 2011.

Maripuu, M.-L.; Afshari, A., *Demand controlled ventilation systems - State-of-the-art-review, Technical report D nr R2009:04*, Department of Building Technology, Building Services Engineering, Chalmers University of Technology, 2009.

Marsh, R.; Grupe Larsen, V.; Hacker, J., *Bygninger, Energi, klima, mod et nyt paradigme*, Statens Byggeforskningsinstitut, 2008

Minergie® Agentur Bau, Position des verieins minergie ® zum thema luftheizung, Notat, 11.10.2007

*SBI-anvisning 196, Indeklimahåndbogen*, Ole Valbjørn, Susse Lausten, John Høwisch, Ove Nielsen, Peter A. Nielsen, Statens byggeforskningsinstitut, 2000

*SBI-anvisning 202, Naturlig ventilation i erhvervsbygninger*, Karl Terpager Andersen, Per Heiselberg og Søren Aggerholm, Statens byggeforskningsinstitut, 2002

*SBI-anvisning 219, Dagslys i rum og bygninger*, Kjeld Johnsen og Jens Christoffersen, Statens byggeforskningsinstitut, 2008

*SBI-anvisning 224, Fugt i bygninger*, Erik Brandt m.fl., Statens byggeforskningsinstitut, 2009

VKR-Holding, Oplysninger vedr *"Bolig for Livet"* er stillet til rådighed for denne analyse via Ellen Kathrine Hansen, VKR-Holding A/S, december 2010.

Aarhus Arkitekterne, levering af plantegning til case study i afsnit 3.2 og 4.2

## Bilag A: Dokumentation af indeklima

Følgende bilag gennemgår vurdering af indeklimaet ud fra retningslinjerne opstillet i "DS/EN/CR 1752, Ventilation i bygninger – Projekteringskriterier for indeklimaet". [DR1752] samt bygningsreglement 2008 [BR08]. Resultaterne i analysen er vurderet ud fra et ønske om at opnå kategori B.

### Termisk indeklima

For at kunne opstille et krav til det termiske indeklima, skal et aktivitetsniveau i huset antages. Her er der brugt 1,2 met, hvilket svarer til stillesiddende aktivitet. Der opstilles i tabel A.1 temperaturintervaller for både kategori A, B og C. Kategori A svarer til et forventet antal utilfredse med de termiske omgivelser på <6%, kategori B svarer til <10% utilfredse og kategori C svarer til <15% utilfredse. [CR1752]

Aktivitetsniveau [met]			1,2		
Kategori			A	B	C
Operativ temperatur	[°C]	Sommer	24,5 ± 1,0	24,5 ± 1,5	24,5 ± 2,5
		Vinter	22,0 ± 1,0	22,0 ± 2,0	22,0 ± 3,0
Maksimal middellufthastighed	[m/s]	Sommer	0,18	0,22	0,25
		Vinter	0,15	0,18	0,21

Tabel A.1. Krav til temperatur og middellufthastigheder for hhv kategori A, B og C. [CR1752]

Som det ses i tabel A.1 er der også krav til middellufthastigheden for hver enkelt kategori, men dette er ikke målt og vurderet i analysen.

### Atmosfærisk indeklima

Bidrag fra bl.a. personer og deres aktiviteter, rygning samt afgasning af materialer er noget der spiller ind på luftkvaliteten i et rum. Disse parametre er dog ikke alle direkte målbare, men som indikator for luftkvaliteten vurderes i stedet både CO<sub>2</sub>-niveauet i huset samt den relative luftfugtighed. Fælles for alle påvirkningerne af det atmosfæriske indeklima er, at antallet af utilfredse reduceres når ventilationsmængden forøges, men en forøget ventilationsmængde resulterer samtidig i et forøget energiforbrug, så det er her vigtigt at finde en balance.

#### Vurdering af CO<sub>2</sub>-niveau

Ved vurdering af CO<sub>2</sub>-niveauet i huset sammenholdes niveauet med kategori B fra [CR1752]. Dette svarer til en CO<sub>2</sub>-koncentration, der maksimalt er 660 ppm over koncentrationen udendørs, som i bl.a. [Komforthusene] fastsættes til 370 ppm. Dvs at CO<sub>2</sub>-niveauet indendørs skal være mindre end 1030 ppm for at opfylde kategori B. Antallet af utilfredse med den oplevede luftkvalitet vil med dette niveau svare til 20% [CR1752]. Samtlige kategorier er vist i tabel A.2.

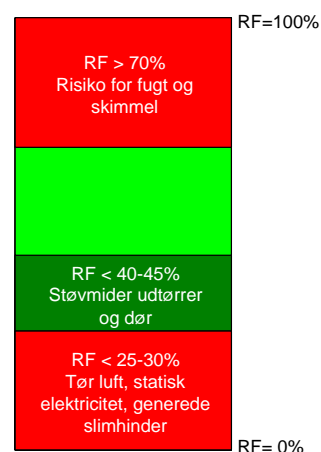
Kategori	A	B	C
CO <sub>2</sub> -koncentration over udendørs	460 ppm	660 ppm	1190 ppm

Tabel A.2. Anbefalet CO<sub>2</sub>-koncentrationen over udendørs koncentration for hhv kategori A, B og C. [CR1752]

### Vurdering af relativ luftfugtighed

Ved vurdering af den relative luftfugtighed (RF) anbefales det i [CR1752], at RF holdes mellem 30% og 70%.

Den nedre grænse på 30% bør overholdes, da der ellers vil opstå gener i form af tør luft, statisk elektricitet og udtørrede slimhinder. Den øvre grænse på 70% bør overholdes for at undgå problemer med fugt og skimmel i boligen, som efterfølgende kan medføre allergi samt dårlig lugt. I [SBI224] angives desuden en kritisk grænse på RF>75%, hvor risiko for problemer i konstruktionerne kan opstå.



Figur A.1. Anbefalinger for relativ luftfugtighed i boligen.

Den sidste grænse, som bliver vurderet i dette projekt, er RF<45%. Det anbefales i [SBI196] at dette kan overholdes i minimum en måned om året, da støvmider dør, når den relative luftfugtighed kommer under 45%.

### Dagslys

Ved vurdering af dagslysforhold i husene tages der udgangspunkt i kravene fra bygningsreglement 2008 [BR08]. Her står bl.a. i "afsnit 6.5.1. Generelt":

Bestemmelse	Vejledning
STK. 1 Arbejdsrum, opholdsrum, beboelsesrum og fælles adgangsveje skal have tilfredsstillende lys, uden at det medfører unødvendig varmebelastning.	(6.5.1, STK. 1) Tilfredsstillende lys skal vurderes i sammenhæng med de aktiviteter og arbejdsopgaver, som planlægges i rummet.  Kravet om dagslys skal ses i sammenhæng med almene sundhedsmæssige aspekter af dagslyset. Mængden af dagslys har endvidere indflydelse på behovet for kunstig belysning.

Og slås der op under *dagslys* i afsnit 6.5.2 findes følgende bestemmelse og vejledning:

Bestemmelse	Vejledning
<b>STK. 1</b> Arbejdsrum, opholdsrum i institutioner, undervisningslokaler, spiserum samt beboelsesrum skal have en sådan tilgang af dagslys, at rummene er vel belyste. Vinduer skal udføres, placeres og eventuelt afskærmes, så solindfald gennem dem ikke medfører overophedning i rummene, og så gener ved direkte solstråling kan undgås.	<b>(6.5.2, STK. 1)</b> I arbejdsrum kan dagslyset i almindelighed anses for at være tilstrækkeligt, når rudearealet ved sidelys svarer til mindst 10 pct. af gulvarealet eller ved ovenlys mindst 7 pct. af gulvareal, forudsat at ruderne har en lystransmittans på mindst 0,75. De 10 pct. og 7 pct. er vejledende ved normal placering af bygningen samt normal udformning og indretning af lokalerne. Såfremt vinduestypen er ukendt på projekteringsstidspunktet, kan omregning fra karmlysningsareal til rudeareal ske ved at multiplicere karmlysningsarealet med faktoren 0,7. Rudearealet skal forøges forholdsmæssigt ved reduceret lysgennemgang (fx solafskærmende ruder) eller formindsket lysadgang til vinduerne (fx ved tætliggende bygninger). Dagslyset kan ligeledes anses for at være tilstrækkeligt, når det ved beregning eller måling kan eftervises, at der er en dagslysfaktor på 2 pct. ved arbejdspladserne. Ved bestemmelse af dagslysfaktoren tages der hensyn til de faktiske forhold, herunder udformningen af vinduesudformning, rudens lystransmittans samt rummets og omgivelsernes karakter. Der henvises til By og Byg Anvisning 203: Beregning af dagslys i bygninger samt SBI-anvisning 219: Dagslys i rum og bygninger, 2007.

Ved vurdering af resultaterne fundet i denne analyse vil en dagslysfaktor på 2% også blive brugt som en minimumsgrænse for dagslysfaktoren, men hvis forholdene skal vurderes som gode dagslysforhold, bør dette kunne opnås hele vejen ind gennem rummet og ikke kun i områder, der kan betragtes som arbejdspladser. På denne måde vil dybden af rummet også kunne medtages i vurderingen, da dybe rum bør have større eller højere placerede vinduesarealer end smalle rum.

Bestemmelse af dagslysfaktorer er foretaget ud fra anvisningerne i SBI-anvisning 219, Dagslys i rum og bygninger, [SBI219].

### Akustisk indeklima

Ved vurdering af målinger af støj fra ventilationsanlæg samt efterklangstider er der taget udgangspunkt i *DS490, Lydklassifikation af boliger*, da der i BR08 henvises til et funktionskrav heri, som er opfyldt ved opnåelse af klasse C.

Følgende uddrag fra BR08 er taget fra kapitel 6.4 *Akustisk indeklima* afsnit 6.4.2 *Boliger og lignende bygninger benyttet til overnatning*.

Bestemmelse	Vejledning
<b>STK. 1</b> Boliger og lignende bygninger benyttet til overnatning og deres installationer skal udformes, så de, som opholder sig i bygningerne, ikke generes af lyd fra rum i tilgrænsende bolig- og erhvervsenheder, fra bygningens installationer samt fra nærliggende veje og jernbaner.	<b>(6.4.2, STK. 1 - STK. 4)</b> Boliger omfatter i denne forbindelse også hoteller, kollegier, pensionater, kroer, klubeligheder, kostskoler, sygehjem, plejehjem, døgninstitutioner og lignende bygninger, der benyttes til overnatning.  Som fællesrum forstås fx fælles opholdsrum for flere boliger, trapperum eller gange.  Funktionskravet for boliger anses for opfyldt, når de udføres som klasse C i DS 490, Lydklassifikation af boliger.

Ses der på definitionen af lydklasse C i DS 490 findes følgende formulering: [DS490, 2007]

### Lydklasse C

Lydklasse svarende til intentionerne i byggelovgivningens minimums-krav. Op til mellem 15% og 20% af beboerne kan forventes af blive forstyrret af lyd eller støj.

Ønsket en forbedret lydklasse skal lydklasse B benyttes. Denne klasse er defineret som: [DS490, 2007]

### Lydklasse B

Lydklasse med et tydeligt bedre lydforhold end byggelovgivningens minimumskrav for boliger. Beboere bliver kun i begrænset omfang forstyrret af lyd eller støj.

#### Krav til støj fra tekniske installationer

Ved vurdering af støj fra tekniske installationer, vil det i lavenergihuse oftest være støj fra ventilationsanlæg/kompaktaggregater, kompressorer, pumper mm. Målingerne foretages i dette tilfælde i umøblerede rum [DS490, 2007].

Kravene til maksimale grænseværdier for støj fra tekniske installationer er angivet i tabel A.3.

Rumtype	Måle-str	Klasse A [dB]	Klasse B [dB]	Klasse C [dB]	Klasse D [dB]
I beboelsesrum og køkkener samt i fælles opholdsrum	L <sub>Aeq,T</sub>	20	25	30	35

Tabel A.3. Støj fra tekniske installationer. Grænseværdier angivet som højeste værdier for A-vægtet, ækvivalent lydtrykniveau. [DS490]

#### Krav til efterklangstider

Kravene til efterklangstider brugt i denne analyse er angivet i tabel A.4. Ved vurdering af resultaterne benyttes kravene til "fælles opholdrum".

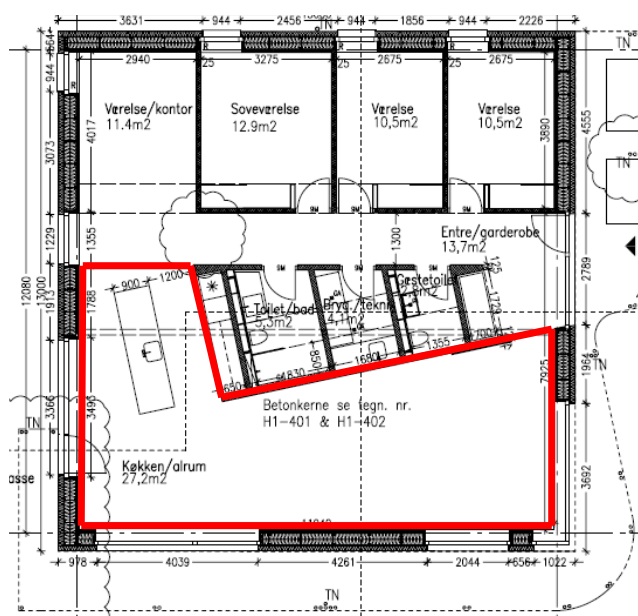
Rumtype	Klasse A [s]	Klasse B [s]	Klasse C [s]	Klasse D [s]
Fælles opholdsrum	0,6	0,6	0,6	Ingen krav

Tabel A.4. Krav til efterklangstid. Grænseværdier angivet som højeste værdier i hvert oktavbånd. [DS490]

## Bilag B: Beregning af døgnmiddeltemperatur til case study

Dette bilag beskriver de inddata og forskellige cases, der er brugt ifm døgnmiddelberegningen tilknyttet kapitel 3. Metoden brugt til beregningen er bl.a. beskrevet i SBI-anvisning 202, Naturlig ventilation i erhvervsbygninger [SBI202].

Det antages i beregningen, at husets varmeste rum vil være stuen samt køkken/alrum mod syd, og dette areal betegner dermed husets kritiske rum. Det er dette rum og det tilhørende areal, som benyttes for at bestemme temperaturen i døgnmiddelberegningen. Figur B.1 angiver hvilke zoner i huset, der bruges i beregningen.



Figur B.1. Definition af det kritiske rum brugt i døgnmiddel-beregningen.

Inputparametre til beregningen vedrørende konstruktioner, vinduer og luftmængder er taget fra husets Be06-beregning. Parametrene fremgår af Figur B.2. Der beregnes fire forskellige cases ud fra nedenstående beskrivelse. Resultaterne fra de fire cases er beskrevet i Tabel B.1.

### Intern belastning

I alle cases er den interne belastning fra apparater (fx køleskab og tv) sat til 20 W, hvilket resulterer i en middellast på 0,35 W/m².

Ved personlast og belysning analyseres to tilfælde.

Lasttilfælde 1 (L1): 2 personer mellem kl. 8-20, 5 personer mellem 20-23. Belysning tændt mellem kl. 20-23. Dette svarer til en middellast på 1,7 W/m² fra personer og 0,22 W/m² fra belysning

Lasttilfælde 2 (L2): Huset er tomt – personlast samt belysning = 0 W/m²

### Naturlig ventilation

Ved beregning af naturlig ventilation benyttes to tilfælde:

Udluftning 1 (U1): Der ventileres mekanisk med udeluft svarende til 0,5 h⁻¹ samt naturlig ventilation svarende til 1,3 h⁻¹,



hvilket svarer til luftskiftet forudsat i husets Be06-beregning.

Udluftning 2 (U2): Der ventileres mekanisk med udeluft svarende til  $0,5 \text{ h}^{-1}$  samt naturlig ventilation svarende til  $2,5 \text{ h}^{-1}$ .

**Beregning af døgnmiddeitemperatur**  
med danske vejrdata

Projekt:  
Stenagervejnet 37

**Rumopbygning**

Konstruktioner mod det fri

Nr	Flade	A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> K	Bu W/K
1	Ydervæg	63,30	0,09	5,70
2	Tag	70,90	0,08	5,67
3				0,00
4				0,00
5				0,00
Sum		134,20		11,37 = Bukon

Hvis der ikke vises kommentarer aktiveres disse under "Vis"

Winduer mod det fri

Nr	Flade	Antal stk	A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> K	Bu W/K	Orient grader	Hældning 90/45/0	g-værdi [-]	f(beta) [-]	f(afsk) [-]	f(skyg) [-]	f(glas) [-]	Fsol [-]
1	V9 - vest	1	8,50	0,65	5,78	270	90	0,52	0,90	1,00	0,80	0,76	0,28
2	V8 - syd	1	10,20	0,65	6,63	180	90	0,52	0,90	1,00	0,70	0,80	0,26
3	V7 - syd	1	4,40	0,65	2,86	180	90	0,52	0,90	1,00	0,70	0,82	0,27
4	V6 - syd	1	1,90	0,71	1,35	180	90	0,52	0,90	1,00	0,70	0,72	0,24
5	V5 - vest	1	6,10	0,63	3,84	90	90	0,52	0,90	1,00	0,70	0,65	0,28
Sum		5	31,10		20,46								

Samlet specifikt varmetab mod det fri Bt  
31,83 = Bt = Bukon + Buvin

Konstruktioner mod gulv samt omgivende rum

Nr	Flade	A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> K	Br W/K	tr °C	Br*tr W
1	Terrændæk	56,70	0,06	3,40	10,00	34,02
2				0,00		0,00
3				0,00		0,00
4				0,00		0,00
5				0,00		0,00
Sum		56,7		3,40		34,02 = Σ Br*tr

Samlet specifikt varmetab mod omgivende rum Br  
3,40 = Br

Ventilation

Type	Luftskifte h <sup>-1</sup>	Rum volum m <sup>3</sup>	Luftstrøm m <sup>3</sup> /s	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Varmekap J/kgK	BL W/K
1 Ventilation	0,50	145,72	0,020	1,2	1006	24,43
2 Infiltration	1,30	145,72	0,053	1,2	1006	63,52
Sum	1,8		0,073			87,96

Samlet specifikt varmetab ved ventilation BL  
87,96 = BL

Varmeakkumulering

Akt.evne W/K pr m <sup>2</sup>	Gulvareal m <sup>2</sup>	Ba W/K	Beskrivelse af valgt rumopbygning
Vælg varmeakkumulering			Rum med flere flise, tunge konstruktioner, Is betondæk og Jolt samt skillevægge af tegl eller letbeton
Ekstra tung	14	56,70	793,80
Samlet specifikt varmeakkumulering Ba			793,80 = Ba

**BELASTNINGER**  
Gå til ark BELAST

Figur B.2. Inddata brugt i døgnmiddelberegning.

Der regnes for alle cases for juni måned.

	Case A	Case B	Case C	Case D
Personlast +	L1	L1	L2	L2
belysning	U1	U2	U1	U2
Naturlig ventilation				
Døgnmiddeltemperatur	35,4°C	30,4°C	34,5°C	29,8°C
Døgnmaks.-temperatur	38,6°C	33,8°C	37,6°C	33,1°C

Tabel B.1. Definition og resultater af de fire cases brugt i beregningen

## Bilag C: Beregning af dagslysfaktor

Følgende bilag beskriver metoden brugt ved måling og bestemmelse af dagslysfaktor. Målemetoden følger anvisningerne i SBI-anvisning 219, Dagslys i rum og bygninger, [SBI219, 2008].

### Definition af dagslysfaktor

Dagslysfaktoren (DF) beregnes som forholdet mellem belysningsstyrken [lux] i et punkt indenfor i rummet ( $E_{\text{inde}}$ ) og belysningsstyrken [lux] målt samtidigt i det fri ( $E_{\text{ude}}$ ) i et vandret plan med fri horisont og jævnt overskyet himmel.

$$DF = \frac{E_{\text{inde}}}{E_{\text{ude}}}$$

Dagslysfaktoren angives i %.

### Bestemmelse af dagslysfaktor

Ved bestemmelsen af dagslysfaktoren foretages samtidige målinger af belysningsniveauet inde og ude på en dag med jævnt overskyet himmel. Målingerne indendørs blev i Komforthusene foretaget i en højde på 0,85 m over gulvet langs med en linie gående vinkelret ud fra vinduet til bagvæg/modstående væg i rummet. I nogle tilfælde er der også foretaget målinger mellem to vægge, hvis området imellem disse er centralt i rummet.



Figur C.1. Måling af dagslys i Komforthusene.